ISSN: 1646-9895

risti

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Outubro 19 • October 19

©AISTI 2019 http://www.aisti.eu

Nº E23

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Edição / Edition
Nº. 23, 10/2019

ISSN: 1646-9895

Indexação / Indexing
Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Index-Copernicus, Index of Information Systems Journals, Latindex, ProQuest, QUALIS, SCImago, SCOPUS, SIS, Ulrich's.

Propriedade e Publicação / Ownership and Publication
AISTI – Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Rua Quinta do Roseiral 76, 4435-209 Rio Tinto, Portugal
E-mail: aistic@gmail.com
Web: http://www.aisti.eu

Director
Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra, PT

Coordenadores da Edição / Issue Coordinators
Félix Fernández-Peña, Universidad Técnica de Ambato, EC

Conselho Editorial / Editorial Board
Carlos Ferrás Sexto, Universidad de Santiago de Compostela, ES
Gonçalo Paiva Dias, Universidade de Aveiro, PT
Jose Antonio Calvo-Manzano Villalón, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Manuel Pérez Cota, Universidad de Vigo, ES
Ramiro Gonçalves, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT

Conselho Científico / Scientific Board
Félix Fernández-Peña, Universidad Técnica de Ambato, EC
David Moreno, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC
Luis Tello Oquendo, Universidad Nacional de Chimborazo, EC
Walter Fuertes, Universidad de las Fuerzas Armadas, EC
Alexis Olmedo Navarro, Universidad Andrés Bello, CL
Julio Barzola Monteses, Universidad de Guayaquil, EC
Omar S. Gómez, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC
Danilo Pastor Ramírez, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC
Diana Olmedo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC
Francisco Maciá Pérez, Universidad de Alicante, ES
Fernando Tiverio Molina Granja, Universidad Nacional de Chimborazo, EC
Edisson Marcelo Coba Molina, Universidad Técnica de Ambato, EC
Marcelo Garcia Sánchez, Universidad Técnica de Ambato, EC
Nicolas Anich, Universitat Politécnica de Catalunya, ES
Iren Lorenzo Fonseca, Universidad de Alicante, ES
Edmundo Bolivar Cabezas Heredia, Universidad Nacional de Chimborazo, EC
Villie Morocho, Universidad de Cuenca, EC
Carlos Gordón Gallegos, Universidad Técnica de Ambato, EC
Luis Vicente García Berfón, Universidad Técnica Particular de Loja, EC

Kleber Barcia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, EC
Néstor Darío Duque Méndez, Universidad Nacional de Colombia, CO
Patricia Acosta-Vargas, Universidad de las Américas, EC
Miguel Vargas Lombardo, Universidad Tecnológica de Panamá, PA
José Manuel Gómez-Pulido, Universidad de Alcalá, ES
Luz Sussy Bayona Ore, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, PE
Roger Freire Avilés, Universidad Agraria del Ecuador, EC
Bruno Domenech, Universitat Politécnica de Catalunya, ES
Helbert Espitia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Luz Marina Sierra Martínez, Universidad del Cauca, CO
Oscar Camacho, Escuela Politécnica Nacional, EC
Danilo Chávez García, Escuela Politécnica Nacional, EC
Cornelio Yáñez Márquez, Instituto Politécnico Nacional, MX
Ileana Pérez Vergara, Universidad de San Buenaventura Cali, CO
Victor Peñafiel, Universidad Técnica de Ambato, EC
Asier Salazar Ramirez, Universidad del País Vasco, ES
Pablo Moreno Ger, Universidad Internacional de La Rioja, ES
Marcelo Pilamunga Poveda, Universidad Técnica de Ambato, EC
Víctor Guachimbosa, Universidad Técnica de Ambato, EC
Thalia San Antonio, Universidad Técnica de Ambato, EC
Alfredo Simón-Cuevas, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, CU
Jorge Santamaría, Universidad Técnica de Ambato, EC
Diana Carolina Coello Fiallos, Universidad de Calabria, IT
Jose M. Lavin, CESINE, ES
Celia Margarita Mayacela Rojas, Universidad Técnica de Ambato, EC
Julio Balarezo, Universidad Técnica de Ambato, EC
Gustavo Andrade-Miranda, Universidad de Guayaquil, EC
Hugo Oswaldo Moreno Aviles, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, EC
Pablo Bengoa, Ikerlan, ES
Julio Pablo Martínez Prieto, Liberty Power, USA

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 11/05/2019
Aceitação/Acceptance: 21/07/2019

Editorial

Sostenibilidad y Desarrollo Tecnológico en la Sociedad Moderna

Sustainability and Technological Development in Modern Society

Félix Fernández-Peña[1]

fo.fernandez@uta.edu.ec

[1] Director del Grupo de Investigación de Informática Aplicada, Universidad Técnica de Ambato, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages: v–vi

La convergencia de la Ciencia de la Computación, la Electrónica y la Ingeniería Industrial en la eficiencia de la industria es innegable. Su desarrollo en los próximos años parece indetenible; sin embargo, enfrentamos el problema de cómo soportar el desarrollo tecnológico sin comprometer la sostenibilidad de la sociedad moderna, reto que es aún mayor para los países en vías de desarrollo.

En este contexto, la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la zona central del Ecuador, una de las zonas más industrializadas del país, llamó a investigadores y académicos a participar en el Congreso Internacional de Ciencia de la Computación, Electrónica e Ingeniería Industrial CSEI2019. Con la participación de conferencistas invitados de Chile, Colombia, Francia, Japón, España, Portugal y los Estados Unidos, este evento académico nació para convertirse en un foro importante para discutir sobre contribuciones recientes en el desarrollo industrial y social basado en la convergencia de la ciencia de la computación, la electrónica y la ingeniería industrial.

Este número especial de la revista contiene contribuciones relevantes en las áreas de interés del congreso, en particular para interesados en los temas de inteligencia artificial, desarrollo de software, informática educativa, e-Gestión, seguridad de las comunicaciones, sistemas interactivos, sistemas integrados, automatización de la producción, producción y operaciones y optimización basada en análisis numérico.

Estas contribuciones abarcan aportes científicos, así como soluciones técnicas que impactan el desarrollo de la industria basada en las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Se recibieron un total de 159 artículos de autores de trece países. Los artículos fueron revisados por pares científicos reconocidos de siete países y se utilizó el método de revisión doble ciego. Finalmente, se aprobaron 40 trabajos, los que se ponen a consideración en este número especial.

Índice / Index

EDITORIAL

Sostenibilidad y Desarrollo Tecnológico en la Sociedad Moderna v
Félix Fernández-Peña

ARTIGOS / ARTICLES

Mejora de K-means usando arreglos de cubrimiento incrementales para la agrupación de procesos empresariales 1
Hugo Ordoñez, Cristian Ordoñez, Carlos Cobos, José Torres-Jiménez, Víctor Bucheli

Redes Neuronales Convolucionales en la identificación de melanomas benignos y malignos 15
Juan José Rangel-Cortes, José Sergio Ruiz-Castilla, Farid García-Lamont, Jair Cervantes-Canales

Estimación del tiempo de evacuación ante una emergencia en un centro educativo basado en un enfoque de red neuronal..... 28
Manolo Córdova-Suárez, Franklin Tigre-Ortega, Sandra Carrillo-Ríos, Diego Quesada-Revelo, Luis Tapia-Vasco

Arquitecturas de software para la eficiencia energética en edificaciones: una revisión sistemática 40
Luis Mendoza-Pittí, José Manuel Gómez-Pulido, Miguel Vargas-Lombardo

Validación de un modelo de medición para la gestión de la calidad del servicio en el ámbito de la auditoría de Tecnologías de la Información 53
Carlos Zumba Vásquez, Diana García Peláez, Francisco Bolaños Burgos

Modelo de Aseguramiento de Calidad para los Procesos de Desarrollo de Software en Pymes 67
Bryan Aranibar, Johanna Méndez, David Mauricio

Desarrollo de aplicaciones eHealth basadas en microservicios en una arquitectura de Cloud 81
Huriviades Calderón-Gómez, Francisco Navarro-Marín, José Manuel Gómez-Pulido, José Luis Castillo-Sequera, Alberto Garcés-Jiménez, María-Luz Polo-Luque, José Sanz-Moreno, Gloria Sención, Miguel Vargas-Lombardo

Proyecto caprino de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña: Caso de aplicación de tecnología 94
Jesús Trillos-Arenas, Daniel Antonio Hernández-Villamizar, Edwin Barrientos-Avendaño, Dewar Rico-Bautista, Luis Coronel-Rojas, Fabian Cuesta-Quintero

Desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios: tendencias y desafíos de investigación.....107
Fredy H. Vera-Rivera, Carlos Mauricio Gaona Cuevas, Hernán Astudillo

Sistema de riego con tecnología IoT: Smart Drip System 121
Daniela Perez O, Katerine Marceles, Eleonora Palta V, Gabriel Elías Chanchi G

Sistema Autónomo Colaborativo de Recuperación de Información 134
Marlena León, Juan Carlos Ruiz-Carrera

Videogame to Support the Teaching of Reading to
Deaf Children using Gamification.....145
Rancés Ramos-Ramirez, David Mauricio

Creando un juego serio educativo mediante un
enfoque de diseño centrado en el usuario.....158
Mayra Carrión, Belén Quispi, Santiago Lema, Marco Santorum, Jose Aguilar

Construcción de recursos educativos para la temática
de accesibilidad en el curso de interacción humano computador.....171
Gabriel Elías Chanchí G., Patricia Acosta Vargas, Wilmar Yesid Campo M.

Estrategia inclusiva mediada por TIC para el mejoramiento de la
comunicación de personas en condición de discapacidad auditiva y vocal 184
Juan José Caiza, Katerine Márceles Villalba

An approach for Helping the Mobility of People with
Visual Impairment: Design and Implementation.....194
Nelson Sotomayor, Danilo Chavez, Oscar Camacho, Victor Taramuel, Mayra Sarzosa

Comparación de dos enfoques para la enseñanza en
Control de Procesos: Simulación versus Implementación 206
Jeysson Tapia, Ana Rodas, Oscar Camacho

Implementación de un Marco para el Gobierno TI en una Entidad Financiera..... 220
Jhondress Honores Ortiz, Sussy Bayona-Oré

Factores Críticos de Éxito en el Desarrollo de E-Gobierno:
Revisión Sistemática de la Literatura 233
Vicente Morales, Sussy Bayona

Dataset de Ransomware basado en análisis dinámico 248
Juan A. Herrera Silva, Freddy Daniel Bazante Veloz, Lorena Isabel Barona López,
Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay, Myriam Hernández-Álvarez

Sistema de monitoreo y seguridad para transporte
público en la modalidad de taxi 262
Francisco Jurado, Tannia Mayorga, Erika Escobar, Diego Donoso

Construcción de una red WiFi 5 definida por software
para el análisis de calidad del servicio 274
Wilmar Yesid Campo Muñoz, Luis Eduardo Echeverry Londono, Gabriel Elías Chanchí G.

Monitoreo y Videovigilancia basado en IoT
en tiempo real de las Unidades de Transporte Colectivo 288
Tatiana Aguilar, Geovanni Brito, Santiago Altamirano, Andrea Sánchez

Revisión a la Seguridad de Sistemas de Control Industrial que utilizan PLC Siemens S7-1200 302
Santiago Manzano, Luis Vite, Marlena León-Mendoza, Mayra Villacis-Iza, Diego Andaluz-Espinosa

Análisis de tráfico del servicio de Videostreaming sobre una red WiFi 314
Wilmar Yesid Campo Muñoz, Nicolás López Quintero, Gabriel Elías Chanchí G.

What do students say about their universities? Generation of ontologies from users posts content in social networks 327
Angel Fiallos, Xavier Ochoa

Estudio del atributo satisfacción en pruebas de usabilidad, mediante técnicas de análisis de sentimientos 340
Gabriel Elías Chanchi G., Wilmar Yesid Campo M., Luz Marina Sierra M.

Clasificadores para el Análisis de Sentimientos en Twitter: una revisión 353
Jason-Paul Anturi-Martínez, Jose-Luis Paz-Realpe, Jimena-Adriana Timaná-Peña, Carlos Cobos

Evaluación del Particionado Espectral Centralizado para el Transporte Radio sobre Fibra en Redes Ópticas de Acceso y Metropolitanas 367
Fabian Ranulfo Cuesta-Quintero, Gustavo Puerto-Leguizamón, Dewar Rico-Bautista

Household Electricity Demand in Marginal Ecuador: Estimation and impact of explanatory variables 378
J. Hidalgo-Crespo, Y. González Cañizalez, S. Coello Pisco, J. Barzola Monteses, Alonso Águila L. M., T. Crespo-Vaca

Waste-To-Energy Incineration: Evaluation of energy potential for urban domestic waste in Guayaquil 392
J. Hidalgo-Crespo, Jorge Amaya, Freddy Jervis, Cesar Moreira, T. Crespo-Vaca, G. Zabala-Ortiz, S. Coello-Pisco

Plataforma Web de predicción de viento basado en técnicas de inteligencia artificial con el uso del método ARIMA: Caso de estudio 404
Stalin Ramírez, Jesús Guamán Molina, Alberto Ríos Villacorta, David Guevara, Rubén Nogales

Influence on the Electromagnetic Compatibility of the Configuration of the Neutral in Grounding Systems for Hospitals 417
Esteban P. Dominguez-Gonzalez-Seco, José-Manuel Gómez-Pulido, Alberto Garces-Jimenez, David Gomez-Gomez

PSO Tuning for a Centralized Dead Time: Compensator Applied to TITO Processes 430
Marco Herrera, Xavier Aguas, Jefferson Revelo, Oscar Camacho

Sorting urban-marginal areas in Ecuador by weighting energy consumption indicators 444
Y. González Cañizalez, J. Hidalgo-Crespo, S. Coello Pisco, J. Barzola Monteses, L. Alonso Águila

Dispositivos Wereables y su Contribución al
Monitoreo de Sistemas Industriales 458
Rommel Velastegui, Nancy Rodríguez, Giovanni Hidalgo, John Reyes

La cooperación Universidad - Empresa y su influencia sobre el
desempeño innovador empresarial de la industria manufacturera en Perú..... 469
Pablo Gutiérrez Falcón, Luis Benavente Villena, Luiggi Cruz Caldas

Comportamiento de los roedores expuestos a radiación
electromagnética generada por los teléfonos móviles 481
Roberto Carlos Vera

Efecto de la metodología lean six sigma en el tiempo de
cambio de moldes en el área de termoformado foam: Caso Ecuador 494
Kleber Barcia Villacreses, Álvaro Verdezoto Dominguez, Jorge Abad-Morán

Aplicación de la simulación de eventos discretos a la
mejora de la eficacia y la eficiencia de las operaciones de un restaurante 507
Ileana G. Pérez Vergara, William Monzón Robles,
Claudia Peña Montoya, Josefina M. de Llano Feliú, Christian Llerena

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 11/05/2019
Aceitação/Acceptance: 04/07/2019

Mejora de K-means usando arreglos de cubrimiento incrementales para la agrupación de procesos empresariales

Hugo Ordoñez[1,2], Cristian Ordoñez[2,3], Carlos Cobos[2], José Torres-Jiménez[4], Víctor Bucheli[5]

haordonez@usbcali.edu.co, cordonezq@unicauca.edu.co, ccobos@unicauca.edu.co, jtj@cinvestav.mx, victor.bucheli@correounivalle.edu.co

[1] Laboratorio de Investigación para el Desarrollo de Ingeniería de Software, Universidad San Buenaventura, Cali, Colombia.

[2] Information Technology Research Group (GTI), Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

[3] Intelligent Management Systems, Fundación Universitaria de Popayán, Popayán, Colombia.

[4] Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

[5] Grupo de Univalle en Inteligencia Artificial, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Pages: 1–14

Resumen: Dado al creciente tamaño de los repositorios de Procesos de Negocios (BP), se requiere de avanzados procesos de búsqueda que faciliten encontrar aquellos BP que se ajusten a las necesidades de los modeladores o analistas. Para esto, el Clustering de BPs ha mostrado ventajas en la organización, visualización y solución de las necesidades de los analistas. En este artículo se realiza una mejora al algoritmo k-means para la agrupación de BPs. Dicha mejora contempla la inicialización de los centroides usando arreglos de cubrimiento incrementales, los cuales permiten mejor exploración del espacio de soluciones. La propuesta además define automáticamente el número de grupos de BPs basado en el índice BBIC y usa la similitud de cosenos entre los BPs representados bajo el modelo espacio vectorial. Los resultados obtenidos superan la precisión, el recall y la medida-f de tres enfoques del estado del arte.

Palabras-clave: Clustering; modelos de procesos de negocio; búsqueda multimodal; arreglos de cubrimiento incremental.

Improvement of K-means using incremental covering arrays for the grouping of business processes

Abstract: Due to the growing size of the business process models repositories is needed search process advanced that to permit find some BPs was that be fit to need of analysts or modelers. For this, the clustering show advantage in the organization, visualization, and solution to the needs of the analysts. In this paper,

an improvement is made to K-Means algorithm to grouping business process. This improvement contemplates the initialization of centroids using incremental covering arrays, which enable better exploration of the solutions space. The proposal also defines automatically the number of groups of BPs based in the BBIC index and use the cosine similarity between the BPs represented in vectorial space model. The results obtain surpass the precision, the recall, and F-measure of three approaches of state-of-art

Keywords: Clustering; Business process models; multimodal search; incremental covering arrays.

1. Introducción

La gestión empresarial requiere procesos ágiles y robustos para atender a clientes exigentes. En consecuencia, gran cantidad de empresas han adaptado y siguen adaptando la gestión, a un ciclo de administración basado en procesos de negocios para apoyar la ejecución gradual y el monitoreo de sus tareas y actividades, las cuales se diseñan y orquestan a través de modelos de procesos de negocios (BPs) (Narayanan et al., 2011).

Con base en lo anterior, actualmente, es común que las empresas cuenten con grandes repositorios de modelos de BPs (Yan, Dijkman & Grefen, 2012). Por lo tanto, buscar o agrupar estos modelos es un desafío importante. Debido a esto, es muy importante desarrollar nuevos enfoques para realizar administración ágil y eficiente de los repositorios de BPs que día a día crecen en tamaño. Basado en este desafío, se han planteado enfoques de agrupación, con el propósito de mejorar la gestión de los repositorios, estos enfoques agrupan los modelos de BPs mediante la aplicación de técnicas de identificación automática de relaciones existentes entre los modelos de BPs. Así, estas técnicas generan grupos basados en relaciones compartidas (Verenich et al., 2015), haciendo posible tener un mayor nivel de comprensión y abstracción de las actividades y sus relaciones, proporcionando a la organización una visión global desde la perspectiva de los BPs ejecutados internamente.

Uno de los algoritmos de agrupamiento de mayor popularidad en el campo de la gestión de repositorios de modelos de BPs es el K-means, debido a su simplicidad y rendimiento. Este algoritmo es no supervisado y se usa comúnmente para agrupar elementos como documentos de texto, documentos web, imágenes, modelos de BPs, entre otros tipos de datos. El algoritmo K-means ejecuta tres pasos principales para agrupar la información, a saber (Ordoñez et al., 2016):

1. ***Inicialización:*** partiendo de un número k predefinido de grupos para realizar la agrupación, selecciona aleatoriamente k elementos de los datos como como centroides.
2. ***Asignación de membrecías:*** organiza cada elemento de los datos en el grupo cuyo centroide tiene un mayor nivel de similitud o cercanía.
3. ***Actualización de los centroides:*** define el centroide de cada grupo como la posición promedio de los elementos que pertenecen a cada grupo generado en el paso anterior. Finalmente, el algoritmo repite los pasos 1 y 2 hasta que no haya más cambios en los centroides o se alcance un número máximo de repeticiones.

El algoritmo K-means tiene algunos inconvenientes, como por ejemplo la sensibilidad en la inicialización de los centroides, que impacta directamente en la creación óptima de los grupos; y la necesidad de tener que definir previamente un número (k) de grupos a crear. Para obtener resultados apropiados, se deben evaluar distintos valores de k y se debe ejecutar varias veces el algoritmo partiendo de diferentes centroides aleatoriamente inicializados, por lo tanto, se incrementa el tiempo de ejecución (Khedr, Seddawy & Idrees, 2014).

Este artículo propone el uso de arreglos de cubrimiento incrementales (Incremental Covering Arrays, ICAs) (Ordoñez et al., 2019) para resolver el problema de la inicialización aleatoria de los centroides del algoritmo K-means, para agrupar modelos de BP. Para lograr una inicialización que explore apropiadamente el espacio de soluciones se usa un ICA con distintos alfabetos y tamaños de fuerza. Este mecanismo minimiza el número de ensayos o iteraciones en el algoritmo y aumenta la posibilidad de encontrar mejores resultados. Además, este enfoque incluye en el algoritmo k-means, el uso del Criterio de Información Bayesiano Balanceado (Balanced Bayesian Information Criterion, BBIC) (Cobos et al., 2014) que en conjunto con una representación de los modelos de BPs basada en el modelo espacio vectorial y el uso de la distancia de coseno para medir la similitud de los BPs permite definir automáticamente el número de grupos (k).

En resumen, las aportaciones de este trabajo son:

- Un muestreo inicial de BPs con base en una ICA que permite inicializar el algoritmo K-means con soluciones distribuidas en el espacio de soluciones, basado en la interacción (similitud) de los BPs, evitando con esto la inicialización aleatoria de los centroides en cada grupo.
- El uso de la distancia cosenos en lugar de la distancia euclidiana, en una representación espacio vectorial que combina dos tipos de información (estructural y textual) de los BPs (Figueroa et al., 2016). Esta propuesta permite identificar mejor las características de cada BP y aumenta la posibilidad de encontrar grupos más cohesivos que, en consecuencia, aumenta el nivel de precisión.
- El uso del BBIC para determinar el número de grupos de BPs (valor k del algoritmo K-means).

El artículo se encuentra organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta el estado del arte, describiendo los trabajos de mayor importancia en el campo de agrupación de BPs. Luego, en la sección 3 se presenta la propuesta de investigación, donde se describe el modelo propuesto con cada uno de sus componentes. Después, en la sección 4, se describe el proceso de experimentación realizado para comprobar la validez del modelo propuesto y, finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro que el grupo de investigación espera desarrollar.

2. Estado del arte

Las empresas y organizaciones estandarizan sus operaciones a través de procesos de negocio, que se almacenan en repositorios y se reutilizan cuando se requieren nuevas funcionalidades. Por esto, cuando las empresas requieren agregar valor a sus BPs, deben

primero buscar los BPs de interés que tienen almacenados en sus repositorios y con ellos crear nuevos procesos que solucionen las nuevas necesidades de la compañía o agreguen mayor valor a los productos o servicios que ofrecen a sus clientes.

La agrupación es una técnica computacional diseñada para crear grupos basados en la similitud de los elementos de un dataset, y en este caso, basados en la similitud de las características estructurales y de comportamiento de los BPs (Aiolli, Burattin & Sperduti, 2011) (Zhao & Fränti, 2014). El agrupamiento permite a los ingenieros (modeladores de BPs) encontrar características comunes dentro del flujo de control, la estructura, el propósito y la función de los BPs. A continuación, se hace una clasificación de los trabajos relacionados con la agrupación aplicada a BPs en tres categorías: Asignación previa; Clustering jerárquico y Clustering basado en centroides.

2.1. Asignación previa

Este tipo de estudios calcula un conjunto de grupos a partir de datos sin procesar, que generalmente se limpian, escalan o normalizan. Además, estos estudios también utilizan otros métodos para identificar el conjunto de características que son de importancia en el proceso de agrupamiento. Dada la complejidad de la información en los BPs, tanto las tareas como la información relacionada a ellas, son esenciales para el reconocimiento de patrones de los BPs, específicamente para el proceso de agrupamiento (Dijkman, La Rosa & Reijers, 2012) (Zhao & Liu, 2013).

Dentro de este tipo de trabajos, se usan mapas de calor, una técnica para manejar datos de alta dimensionalidad que permite visualizar las relaciones entre los BPs dentro del repositorio. Los mapas de calor aportan nueva información sobre la distribución de los valores para cada dato (Melcher, Seese & Aifb, 2008). El trabajo de (Diamantini, Potena & Storti, 2011) propuso dos conjuntos de relaciones locales entre pares de actividades y relaciones entre BPs, secuencias codificadas de información de BPs, prefijos de casos históricos que utilizan secuencias simbólicas complejas, para agrupar los Bps.

2.2. Clustering Jerárquico

Los trabajos en esta categoría realizan una aglomeración de BPs en función de su información estructural (Jae-Yoon & Joonsoo, 2009) (Chehreghani, Abolhassani & Chehreghani, 2008) (Montani & Leonardi, 2012a). Estas técnicas son útiles para diseñar nuevos procesos, reingeniería de procesos y para recuperar información relevante de BPs similares. La agrupación jerárquica requiere que los usuarios verifiquen la jerarquía generada y que seleccionen el grupo de mayor similitud con su solicitud (Montani & Leonardi, 2012b).

2.3. Clustering basado en centroides (K-means)

Este tipo de agrupación busca centroides o elementos centrales para crear agrupaciones de BPs. El algoritmo más utilizado es k-means, que divide la información a agrupar en n observaciones (grupos), para cada observación ni define un centroide ki,, con el fin de agrupar los elementos según el nivel de similitud o cercanía con el centroide (ki $\in$ ni).

(Dongen & Adriansyah, 2010) propuso un enfoque para agrupar y recuperar los BPs utilizando el algoritmo k-means basado en la estructura y las similitudes semánticas de los BPs. Los resultados mostraron BPs más similares en cada grupo. Otros trabajos (Laliwala & Chaudhary, 2008) utilizaron técnicas de agrupamiento para identificar BPs secuenciales.

La entrada para la agrupación, en este tipo de enfoques, es un conjunto de registros de datos de ejecuciones anteriores de BP. Luego, el algoritmo de agrupación agrupa los modelos de BPs con el mismo tipo de comportamiento en función del flujo de ejecución y las dimensiones temporales (Ferreira et al., 2007) (Ferreira, 2009).

Otros estudios en esta categoría propusieron estrategias para aumentar la precisión y el rendimiento de los algoritmos de agrupamiento. Por ejemplo (Ordoñez et al., 2016) usaron el algoritmo K-means y la distancia del coseno para calcular la similitud de los BP y encontrar grupos que contengan BPs similares. Además, este estudio representó la información estructural como codebooks en forma de cadenas de texto que simularon la formación de n-gramas no continuos y acumulativos. En consecuencia, el enfoque almacenó información tanto textual como estructural en una matriz que simula un espacio vectorial.

2.4. Diferencias con los trabajos previos

Los trabajos basados en agrupamiento jerárquico siguen una estructura jerárquica en la que los BP pertenecen a un grupo base y sus súper grupos. Sin embargo, en algunos casos, los BP no siguen necesariamente este tipo de estructura, lo que puede llevar a la superposición de los grupos identificados y a aumentar el número de elementos que pertenecen a varios grupos. Aunque esto puede producir un valor más alto en la recuperación, también produce una reducción en la precisión del algoritmo. Además, en algunos casos, los BP pertenecen a áreas específicas dentro de una organización que tienen su estructura jerárquica, en este sentido, la agrupación jerárquica no respeta esta estructura de la organización o la de los BPs agrupados.

Con respecto a la agrupación basada en centroides, la identificación del número de centroides sigue siendo una pregunta abierta. Estos algoritmos necesitan un parámetro inicial para definir el número de grupos que se formarán (k grupos), y el proceso aleatorio de inicialización de los centroides dificulta encontrar la solución óptima. Estos problemas además aumentan el tiempo de ejecución porque el algoritmo se debe ejecutar n veces para asignar cada BP a un grupo con el centroide de mayor similitud y se solucionan con la propuesta de este artículo.

3. Método propuesto

La Figura 1. muestra el método propuesto, donde el algoritmo KmeansICA se soporta dos fases principales denominadas, indexación (indexa los BPs del repositorio en un esquema multimodal basado en el modelo de espacio vectorial) y consulta (que permite a un usuario hacer una consulta recuperar los BPs más similares a su consulta y luego agrupa dichos resultados con KmeansICA para facilitar la visualización de los resultados).

Índexación: usa un enfoque multimodal para representar los BPs integrando información textual (por ejemplo, nombres, descripción de tareas, eventos y compuertas) junto con codebooks formados por información de comportamiento secuencial (por ejemplo, tarea-tarea, tarea-compuerta, tarea-evento-compuerta). El repositorio se organiza conceptualmente como una matriz espacio vectorial y sus celdas se ponderan con la ecuación propuesta por Salton en (Manning, Raghavan, Prabhakar & Schütze, 2008).

El propósito de esta fase es reducir el tiempo de consulta en el repositorio de BPs y generar un espacio de consulta más exacto (que represente mejor los BPs) para obtener respuestas más precisas y organizadas basadas en la similitud de la consulta y los resultados devueltos (Ordoñez et al., 2016).

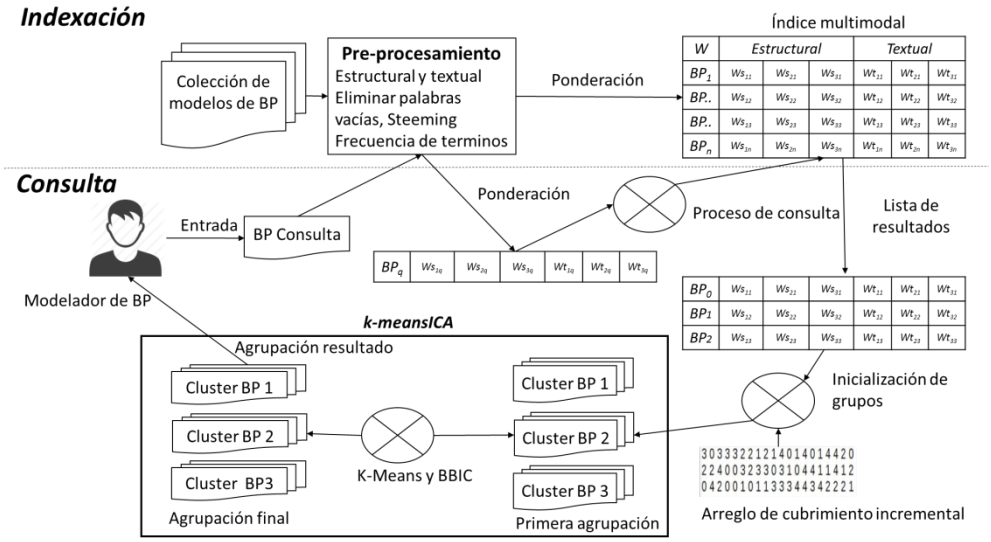


Figura 1 – Arquitectura para agrupación de modelos de BP

Consulta: en esta fase, el usuario (modelador de BP) introduce un modelo de BP o parte de él como un BP de consulta. A continuación, el módulo de preprocesamiento transforma el BP de consulta de su formato original (BPMN) a una representación espacio vectorial en la que cada BP se considera un vector de términos. Este vector de términos también se compone de datos textuales y estructurales, y está ponderado con la ecuación propuesta por Salton en (Manning, Raghavan, Prabhakar & Schütze, 2008). Posteriormente, la fase de consulta hace la comparación entre el vector que representa el BP de consulta y cada BP registrado dentro del índice multimodal (filas de la matriz espacio vectorial que representa los BPs del repositorio). Finalmente, retorna los BPs que son más parecidos con el BP de consulta (lista de resultados). A continuación, se inicia el proceso de agrupación para mostrar al usuario los resultados organizados en carpetas (particiones) de BPs similares en cada grupo o carpeta.

Inicialización del proceso de agrupación: este proceso tiene como base un ICA. Cada ICA es configurado con cuatro parámetros, N, k, t y v enteros positivos, con $t \leq k$. Un covering array $CA(N; t, k, v)$ de fuerza t y orden v es una matriz de $N \times k$ valores en el conjunto $Z_v^t = \{0,1,\ldots,v-1\}$, donde cada sub matriz de medida $N \times t$ cubre, al menos una vez, todas las combinaciones del conjunto Z_v^t.

Aquí N representa el número de registros (filas) de un ICA con una solución de agrupación para todo el universo de posibles soluciones con respecto al número de elementos (BP) que se deben agrupar. k es el número de columnas, i.e., el número de elementos recuperados de una consulta. t Determina la fuerza, i.e., el número mínimo de BPs que se espera interactúen entre sí en el proceso de agrupación. v es el alfabeto, i.e, el número de grupos que se pueden crear (cada elemento del alfabeto representa un grupo específico para asignar un BP en la primera instancia). En este proceso, cada elemento BP_i dentro de la lista de resultados se asigna al grupo de la columna. k_i, relacionado con el valor del alfabeto v_j. En una celda del ICA, el índice de la columna representa la posición de cada BP recuperado y el número de la columna representa el número de grupo.

El algoritmo KmeansICA entonces hace como primer paso la inicialización con un renglón del ICA y luego ejecuta los pasos del K-means tradicional, buscando reducir el error cuadrático medio que pueda existir entre los elementos de cada grupo del paso anterior. Los pasos que se ejecutan son:

- Paso 1 – inicialización con un renglón del ICA: Este paso toma un renglón del ICA y hace la agrupación de los procesos de la siguiente forma (se toma como ejemplo el primer registro 30333221214014014420 del ICA -Lista de arreglos de cobertura- de la Figura 1): Como el renglón del ICA en la posición 0 tiene el valor de 3, significa que el primer proceso de negocio (BP_0) se asigna al grupo 3. Luego, como en la posición 1 tiene el valor de 0, significa que el segundo proceso de negocio (BP_1) se asigna al grupo 0, y así sucesivamente.
- Paso 1.1 – definición de centroides iniciales: el algoritmo calcula el centroide para cada grupo resultado del proceso con ICAs, que es un vector que contiene el promedio de los valores dentro de las columnas de los BPs. Estos valores se calculan mediante la Ecuación. 1.

$$Centroid_{g,i} = \frac{\sum_{j \in g} w_{i,j}}{n_g} \tag{1}$$

Donde i representa cada componente textual o estructural de un BP_j; w es un vector de ponderación, y n_g es el número de BPs dentro del grupo.

- Paso 2 – asignación de membrecías: el algoritmo une cada BP al grupo con la mayor similitud. La similitud de los centroides a cada BP se evalúa con la distancia de cosenos, como se muestra en la Ecuación 2:

$$\left(Centroid_g, BP_j\right) = cos\theta = \frac{\sum_{i=0}^{m}(Centroid_{i,g} * w_{i,j})}{\|(Centroid_{i,g}\| * \|(w_j\|} \tag{2}$$

Donde i representa cada componente textual o estructural de un BP_j; w es un vector de ponderación, y $Centroid_g$ es el vector que representa el centroide del grupo g.

- Paso 3 – actualización de centroides: El algoritmo recalcula los centroides de cada grupo.
- Paso 4: El algoritmo finaliza el proceso si no hay cambios en los centroides de los grupos, de lo contrario, se repiten los pasos 2 y 3.

Para poder determinar cuál de todos los N resultados de KmeansICA (es preciso recordar que el ICA tiene N filas, estas N filas sirven para ejecutar N veces KmeansICA cada uno con un renglón distinto del ICA) es mejor, se precisa usar una medida que permita comparar diferente número de grupos, ya que las filas del ICA tienen diferente alfabeto, i.e. diferente número de grupos. Por esto, se usó BBIC. Para obtener BBIC primero se debe calcular la suma del error cuadrático intra-clúster, con la Ecuación 3.

$$SSE_i = \sum_{x \in C_i} dist(c_i, x)^2 \tag{3}$$

Donde $dist$ se calcula utilizando la distancia de cosenos para la representación en el espacio vectorial de los BPs, incluida la información textual y estructural.

Luego se calcula la distancia promedio entre los centroides de los grupos (Average Distance Between Clusters, ADBC) usando la Ecuación 4 y luego se calcula como tal el valor de BBIC de esa ejecución de KmeansICA usando la Ecuación 5.

$$ADBC = \frac{2}{k*(k-1)} \sum_{j=1}^{k-1} \sum_{l=j+1}^{k} \| 1 - dist(c_l, c_j) \| \tag{4}$$

$$BBIC = n * ln\left(\frac{SSE}{n*ADBC}\right) + k * ln(n) \tag{5}$$

Donde n es el número total de BPs recuperados. k es el valor del alfabeto del ICA_i (i.e., El número total de grupos a formar en esta solución). SSE es la suma de todos los SSE_i.

En resumen, el algoritmo toma renglón por renglón del ICA y ejecuta la versión propuesta de KmeansICA. Luego toma los valores de BBIC de cada una de esas ejecuciones y selecciona la mejor solución, i.e. la solución con el menor valor de BBIC (para una implementación óptima, se puede ir comparando cada ejecución de KmeansICA con la mejor hasta el momento e ir remplazándola si es mejor). Si el algoritmo alcanza el tiempo máximo de ejecución, el proceso se puede detener y mostrar el mejor resultado obtenido hasta ese momento.

4. Resultados experimentales

El éxito de un mecanismo de búsqueda de BPs viene dado por el grado de relevancia de la lista BP obtenida de una consulta (Pretschner & Gauch, 1999). Un método convencional

para evaluar la relevancia es la ejecución del prototipo en una colección cerrada, que contiene las respuestas ideales para cada consulta. La colección cerrada para evaluar el método propuesto en este trabajo fue creada en colaboración por parte de 56 expertos en modelos de BPs (Ordoñez et al., 2014).

Un conjunto de grupos $\{C_1, C_2, \ldots, C_k\}$ se creó automáticamente con el algoritmo KmeansICA para la evaluación de la precisión, el recall y la medida f. Este conjunto fue comparado con la colección ideal de grupos $\{C_1^i, C_2^i, \ldots, C_h^i\}$.

A continuación, se realizó una evaluación externa siguiendo estos pasos: (a) para encontrar un grupo ideal C_n^i, y un grupo distinto C_m que mejor se aproxima C_n^i, en la colección. Entonces para evaluar $P(C, C^i)$, $R(C, C^i)$ y $F(C, C^i)$ definidas por ecuaciones 6, 7 y 8 respectivamente. (b) calcular la precisión ponderada, la recall ponderada y la medida F ponderada en función de las ecuaciones 9, 10 y 11.

$$P(C, C^i) = \frac{|C \cap C^i|}{|C|} \tag{6}$$

$$R(C, C^i) = \frac{|C \cap C^i|}{|C^i|} \tag{7}$$

$$F(C, C^i) = \frac{2P(C, C^i)R(C, C^i)}{P(C, C^i) + R(C, C^i)} \tag{8}$$

$$P = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{h} |C_j^i| \, P(C_m, C_j^i) \tag{9}$$

$$R = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{h} |C_j^i| \, R(C_m, C_j^i) \tag{10}$$

$$F = \frac{2PR}{P+R}; T = \sum_{j=1}^{h} |C_j^i| \tag{11}$$

En la ecuación 9, C es un grupo de modelo de BP, C^i es un grupo ideal de modelos de BP. La evaluación se realizó en dos fases. Fase uno, comparación del método propuesto contra K-meansBP, que ejecuta el algoritmo estándar de K-means. Esta fase apunta a validar si la inicialización de los grupos con los ICA, la distancia de los cosenos y el BBIC mejoraron los resultados en el proceso de agrupación.

El primer paso de esta fase evaluó el número de iteraciones que cada algoritmo necesitaba para alcanzar el número de grupos que se formarán. La Tabla 1 muestra que KmeansICA solo requirió una iteración para generar los cuatro grupos correspondientes a la consulta Q4 (nueve veces menos que K-meansBP con el mismo número de grupos). Significa que el uso de ICA para inicializar los centroides permite que el algoritmo ejecute menos pasos para mover cada uno de los BP recuperados al centroide más cercano. Además,

la fuerza 4 del ICA significa que al menos cuatro BPs de cada grupo están ubicados correctamente, por lo que los BP están cerca del centroide y el algoritmo solo requiere una iteración para crear el clúster.

De la misma manera, las consultas Q2 y Q5 para KmeansICA requirieron 2 iteraciones para crear cuatro grupos, a diferencia de K-meansBP, que requirió entre 8 y 9 iteraciones para crear tres grupos.

Aunque los mejores resultados para estas consultas se obtuvieron con la fuerza 2, solo se requirieron 2 iteraciones (de manera similar para el Q4). El muestreo puede identificar que al menos 2 BPs de cada grupo están ubicados correctamente.

El segundo paso para esta fase buscó comparar los resultados de K-meansBP y KmeansICA para cada consulta. La precisión (P) mostrada en la Tabla 2, obtuvo los valores más altos utilizando KmeansICA con la consulta Q5 y un valor de 0.94, seguido de Q6 y Q1 con 0.89. En la misma medida, K-meansBP obtuvo 0,78 en Q6, seguido de Q5 con 0,73 y Q2 con 0,71.

	K-meansBP		**KmeansICAS**	
	Iteraciones	**Grupos**	**Iteraciones**	**Grupos**
Q1	10	4	2	3
Q2	9	3	2	4
Q3	9	3	2	3
Q4	10	4	1	3
Q5	8	3	2	4
Q6	9	3	2	3

Tabla 1 – Evaluación de la creación de grupos por iteraciones.

Estos resultados demuestran que KmeansICAS alcanza en promedio un 24,2% adicional de precisión en comparación con K-meansBP. Por lo tanto, la inicialización de los centroides a partir de los datos de ICA (a diferencia de la inicialización aleatoria) puede producir mejores resultados debido a que ICA muestrea adecuadamente las combinaciones posibles de elementos que pertenecen a cada grupo. Además, el uso de BBIC permite seleccionar la agrupación con la mayor similitud entre los elementos (cohesión más alta).

Con respecto al recall (R), el enfoque de K-meansBP obtuvo los valores más altos para Q6, Q4 y Q3, con 0.85. Similarmente, KmeansICA obtuvo los valores más altos para Q3 y Q4 con 0.85 a diferencia de Q5 con 0,79. Se obtiene que KmeansICA obtiene en promedio un puntaje 7.9% adicional de recall que K-meansBP.

La medida F representa la armonía entre la precisión y el recall del proceso de agrupación. KmeansICA obtuvo un promedio de 0,82, en contraste con K-meansBP con 0,69. Por lo tanto, KmeansICA logra un 17,4% más de rendimiento sobre K-meansBP. En otras palabras, el uso de ICA en el proceso de inicialización aumenta el rendimiento del algoritmo y reduce el número de iteraciones y el tiempo de ejecución.

La fase 2 de la evaluación comparó a nivel de resultados promedios de precisión, recall y medida F, el método propuesto con tres propuestas del estado del arte: K-meansBP (ya comparado), HierarchicalBP y GroupBPFuzzy.

El entorno HierarchicalBP utiliza una medida de similitud estructural para agrupar modelos de BPs. La medida evalúa la similitud de un BP representado como grafo que contiene dependencias entre actividades (por ejemplo, AND, XOR y OR se divide y realiza bucles). La agrupación final se representa a través de una estructura jerárquica llamada Dendograma (Jae-Yoon & Bae, 2009).

Algoritmo	**K-meansBP**			**KmeansICA**		
Métrica	**P**	**R**	**F**	**P**	**R**	**F**
Q1	0,68	0,73	0,70	**0,89**	**0,78**	**0,83**
Q2	0,71	0,34	0,46	**0,85**	0,59	0,69
Q3	0,68	**0,85**	0,76	**0,83**	**0,85**	**0,84**
Q4	0,66	**0,85**	0,75	**0,87**	**0,85**	**0,86**
Q5	0,73	0,68	0,71	**0,94**	**0,79**	**0,86**
Q6	0,78	**0,85**	0,81	**0,89**	0,78	**0,84**

Tabla 2 – Precisión (P), Recall (R), y medida F (F) en cada consulta

Por otra parte, GroupBPFuzzy utiliza un método multimodal para recuperar BPs de un repositorio y un algoritmo incremental para agrupar los BP recuperados (Ordoñez et al., 2017).

La Figura 2, muestra los resultados de la evaluación comparativa entre los tres trabajos del estado del arte y KmeansICA. En estas medidas se puede observar que los valores más altos de precisión, recall y medida F los obtuvo KmeansICA, en general, esto se debe a que los BP agrupados contiene mayor cohesión dentro de las agrupaciones. Este hecho también demuestra que el muestreo creado con el ICA es apropiado para el problema de agrupación de procesos de negocio y es mejor opción que la inicialización aleatoria. GroupBPFuzzy también obtuvo valores altos de precisión, recall y medida F justo después de los puntajes de KmeansICA, ya que este algoritmo también analiza la extensión total de los BP antes de asignarlos a un grupo adecuado. El algoritmo K-meansBP solo superó los resultados de HierarchicalBP con respecto a la medida de Precisión, esto se debe a que el algoritmo de agrupación localizó los BPs en un solo grupo en contraste con la organización jerárquica que ubicó los BPs en uno o más grupos de la estructura jerárquica, lo cual reduce la precisión.

5. Conclusiones y trabajo futuro

Este documento presentó un enfoque que utiliza un modelo de búsqueda multimodal en combinación con el algoritmo de agrupación K-means para mejorar la categorización y la búsqueda de BP. El uso de arreglos de cubrimiento incrementales (ICA) para inicializar los centroides en K-means representa una reducción significativa del número de

iteraciones que el algoritmo requiere para realizar el agrupamiento. Además, al reducir el número de iteraciones, el tiempo de ejecución del algoritmo también disminuye significativamente, y al mejorar la calidad de la agrupación el usuario puede dedicar menos tiempo a buscar y revisar los BPs recuperados en la consulta.

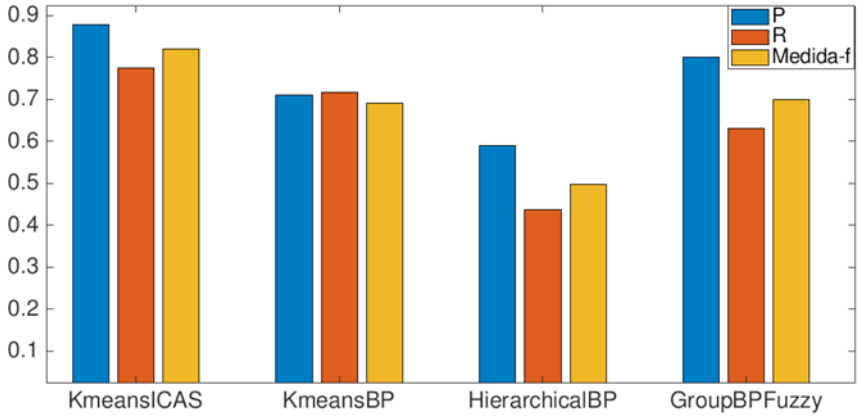


Figura 2 – La evaluación comparativa frente a los tres trabajos del estado del arte

Los arreglos de cubrimiento permiten a K-means iniciar el proceso de agrupación en lugares bien separados del espacio de búsqueda, lo cual reduce la probabilidad de llegar a los mismos óptimos locales, obteniendo al final que se aumenta la probabilidad de encontrar el óptimo global.

El criterio de información Bayesiano balanceado (BBIC) junto con la distancia de cosenos como medida de similitud entre BPs, permite definir en forma automática el número k de grupos a formar, ya que el número de grupos es encontrado según el nivel más bajo de BBIC. En este sentido, BBIC permite encontrar el número de grupos "óptimos" a cada consulta, de manera que el nivel de precisión, recall y medida F sea la mayor posible.

Como trabajo futuro, se espera la integración y la comparación del enfoque presentado con otros algoritmos de agrupación como X-means y algoritmos clásicos de comparación de grafos comúnmente usados en la gestión de procesos de negocios.

Referencias

Aiolli, F., Andrea, B., & Sperduti, A. (2011). A business process metric based on the Alpha algorithm relations. Lecture Notes in Business Information Processing 99, 141-146.

Chehreghani, M., Abolhassani, H., & Chehreghani, M. (2008). Improving density-based methods for hierarchical clustering of web pages. Data & Knowledge Engineering 67(1), 30–50.

Manning, Ch., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). An introduction to retrieval information (2nd ed).

Cobos, C., Muñoz-Collazos, H., Urbano-Muñoz, R., Mendoza, M., León, E., & Herrera-Viedma, E. (2014). Clustering of web search results based on the Cuckoo search algorithm and balanced bayesian information criterion. Information Sciences 281, 248–64.

Diamantini, C., Potena, D., & Storti, E. (2011). Clustering of process schemas by graph mining techniques (Extended Abstract). SEBD.

Dijkman, R., La Rosa, M., & Reijers, H. (2012). Managing large collections of business process models - current techniques and challenges. Computers in Industry 63(2), 91–97.

Dongen, B., & Adriansyah, A. (2010). Process mining: Fuzzy clustering and performance visualization. Lecture Notes in Business Information Processing 43, 158–69.

Ferreira, D. (2009). Applied sequence clustering techniques for process mining. In J. Cardoso, & W. van der Aalst (Eds.), Handbook of Research on Business Process Modeling (pp. 481-502). Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-60566-288-6.ch022.

Ferreira, D., Zacarias, M., Malheiros, M., & Ferreira, P. (2007). Approaching process mining with sequence clustering: experiments and findings. Lecture Notes in Computer Science, 4714, 360-374.

Figueroa, C., Ordoñez, H., Corrales, J., Cobos, C., Krug, L., & Herrera-Viedma, E. (2016). Improving business process retrieval using categorization and multimodal search. Knowledge-Based Systems 110(2), 49-59.

Jae-Yoon, J., Bae, J., & Liu, L. (2009). Hierarchical clustering of business process models. International Journal of Innovative Computing, Information and Control 5(12), 4501-4511.

Khedr, A., El Seddawy, A., & Idrees, A. (2014). Performance tuning of K-Mean clustering algorithm a step towards efficient DSS. International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology 2(6), 111-118.

Melcher, J., & Seese, D. (2008). Visualization and clustering of business process collections based on process metric values. 2008 10th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, Timisoara (pp. 572-575).

Montani, S., & Leonardi, G. (2012a). Retrieval and clustering for supporting business process adjustment and analysis. Information Systems 40, 128-141.

Montani, S., & Leonardi, G. (2012b). Retrieval and clustering for business process monitoring: results and improvements. Lecture Notes in Computer Science 7466, 269–83. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32986-9_21.

Narayanan, S., Jayaraman, V., Luo, Y., & Swaminathan, J. (2011). The antecedents of process integration in business process outsourcing and its effect on firm performance. Journal of Operations Management 29(1–2), 3–16.

Ordoñez, A., Ordoñez, H., Corrales, J., Cobos, C., Krug, L., & Thom, L. (2017). Grouping of business processes models based on an incremental clustering algorithm using Fuzzy similarity and multimodal search. Expert Systems with Applications 67, 163–177.

Ordoñez, H., Corrales, J., Cobos, C., & Krug, L. (2014). Collaborative grouping of business process models. En ACM International Conference Proceeding Series 12 (pp. 1–2). https://doi.org/10.1145/2590651.2590686.

Ordoñez, H., Merchan, L., Ordoñez, A., & Cobos, C. (2016). Business process models clustering based on multimodal search, K-Means, and cumulative and No-Continuous N-Grams. Polibits 54, 25–31.

Ordoñez, H., Ordoñez, A., Cobos, C. & Merchan, L. (2016). Multimodal indexing and search of business processes based on cumulative and continuous N-Grams. Lecture Notes in Business Information Processing, 278, 129–141. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53676-7_10.

Ordoñez, H., Torres-Jimenez, J., Cobos, C., Ordoñez, A., Herrera-Viedma, E. & Maldonado-Martinez, G. (2019). A business process clustering algorithm using incremental covering arrays to explore search space and balanced Bayesian information criterion to evaluate quality of solutions. PLoS ONE, 14(6), e0217686. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217686.

Rizman, K. (2008). An efficient k' -means clustering algorithm. Pattern Recognition Letters 29, 1385–91.

Verenich, I., Dumas, M., La Rosa, M., Maggi, F., & Di Francescomarino, Ch. (2015). Complex symbolic sequence clustering and multiple classifiers for predictive process monitoring. En 11th International Workshop on Business Process Intelligence (pp. 1–12).

Yan, Z., Dijkman, R., & Grefen, P. (2012). Business process model repositories – framework and survey. Information and Software Technology, 54(4), 380–95.

Zhao, Q., & Fränti, P. (2014). WB-Index: a sum-of-squares based index for cluster validity. Data & Knowledge Engineering 92, 77–89.

Zhao, X., & Liu, Ch. (2013). Version management for business process schema evolution. Information Systems, 38(8), 1046–69.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/06/2019
Aceitação/Acceptance: 16/09/2019

Redes Neuronales Convolucionales en la identificación de melanomas benignos y malignos

Juan José Rangel-Cortes[1], José Sergio Ruiz-Castilla[1], Farid García-Lamont[1], Jair Cervantes-Canales[1].

juan991029@gmail.com, jsergioruizc@gmail.com, fglamont@gmail.com, chazarra17@gmail.com

[1]Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Texcoco, Av. Jardín Zumpango s/n El Tejocote, C. P. 56259, Texcoco, Estado de México, México.

Pages: 15–27

Resumen: El cáncer de piel más común es el de tipo melanoma, que ha aumentado en múltiples partes del mundo. Por lo anterior, se trabajó en la clasificación de melanomas para apoyar la posible detección de melanomas malignos. Se utilizaron Redes Neuronales Convolucionales o Convolutional Neural Networks por sus siglas en inglés. Se utilizaron imágenes del *Dataset* disponibles en *International Skin Imaging Collaboration*. Se aplicaron tres técnicas: 1) Se clasificaron melanomas añadiendo metadatos de edad, género y tamaño del melanoma, en la matriz de pixeles. 2) Con las imágenes sin la piel. 3) Con un tamaño de 300 x 300 pixeles y con 2000 imágenes. Se llevó a cabo el entrenamiento y validación en cada técnica. Al final, se probó cada técnica con imágenes nuevas y se obtuvieron resultados, en los cuales, se obtuvo un mejor resultado en la tercera técnica cuando se añadieron más imágenes en el entrenamiento.

Palabras-clave: cáncer de piel; melanoma; red neuronal convolucional; clasificación; aprendizaje profundo.

CNN: Convolutional Neural Networks in the identification of benign and malignant melanomas

Abstract: The most common skin cancer is melanoma, which has increased in multiple parts of the world. Therefore, we worked on the classification of melanomas to support the possible detection of malignant melanomas. We use a Convolutional Neural Networks. We use a Dataset images available in *International Skin Imaging Collaboration*. Three techniques were applied: 1) Melanomas were classified by adding metadata of age, gender and size of melanoma, in the pixel matrix. 2) With the images without the skin. 3) With 2000 images and a size of 300 x 300 pixels. We were carried out Training and validation in each technique. Finally each technique was tested with new images and results were obtained, a better result was obtained in the third technique when more images were added on training.

Keywords*:* skin cancer; melanoma; convolutional neural network; classification; deep learning.

1. Introducción

Según Brinker et al. (2018), en la última década, de 2008 a 2018, el número anual de casos de melanoma ha aumentado en un 53%, en parte debido al aumento de la exposición a los rayos ultravioleta (UV). También la exposición prolongada al arsénico inorgánico, a través del uso y consumo de agua contaminada o comida preparada y cultivos alimentarios regados con agua rica en arsénico puede causar intoxicación crónica; los efectos más característicos son la aparición de lesiones cutáneas y cáncer de piel (Organización Mundial de la Salud, 2018). El melanoma es uno de los tipos más letales de cáncer de piel (Brinker et al., 2018; Mahbod , Ecker, & Ellinger, 2017; Chang, 2017). Sin embargo, un diagnóstico oportuno incrementa el índice de supervivencia (Brinker et al., 2018; Tarriba et al., 2017; Yang et al., 2017).

La presente investigación se enfoca en la labor de médicos en clínicas rurales como las de México donde el Sistema Nacional de Salud tiene tres niveles para la atención al público. En el primer nivel se brindan servicios básicos de salud. En el segundo nivel son atendidos para realizar procedimientos de diagnóstico, así como procesos terapéuticos y de rehabilitación. En el tercer nivel, se tratan las enfermedades de baja prevalencia, alto riesgo y enfermedades más complejas. A este nivel, son pasados los pacientes desde el primer y segundo nivel (Burr, Piñó, Quiroz , & Martín-Lunas).

La forma de diagnóstico de una lesión maligna por un médico es el examen visual del área de piel sospechosa (Brinker et al., 2018). La inteligencia artificial y los modelos de aprendizaje profundo se han aplicado para ayudar a los médicos que no tienen tanta esperiencia (Yu et al., 2018).

Con este trabajo se presenta una propuesta para clasificar los melanomas con el objetivo de ayudar en el diagnóstico previo del cáncer de piel tipo melanoma. Se utiliza una red neuronal convolucional así como metadatos del Dataset ofrecido por la *ISIC (The International Skin Imaging Collaboration)*. Se exploran algunos parámetros de la CNN y se lleva a cabo un pre-procesamiento de las imágenes.

El artículo se estructura de la siguiente manera. Como parte de la introducción, se incluyen conceptos del cáncer de piel y de las CNN. Luego se muestran algunos trabajos publicados relacionados. Posteriormente, se detalla el método en el cual se aplican tres técnicas: primero, con metadatos dentro de la misma matriz de pixeles, otra quitado de la piel de la imagen y la tercera con imágenes originales. Finalmente, se presentan los resultados y se arriba a conclusiones sobre los mejores resultados.

1.1. Cáncer de piel

El cáncer de piel se ha clasificado en dos grandes grupos: el cáncer de piel no melanoma y el melanoma maligno. El cáncer de piel melanoma maligno es el más letal (responsable del 75% de las muertes por cáncer cutáneo) y frecuente. En todo el mundo, cada año, se diagnostican cerca 160,000 casos nuevos de melanoma. La Clínica de Melanoma del *Instituto Nacional de Cancerología (INCAN)* reporta que en México ha aumentado este tipo de cáncer en casi un 500% en los últimos años. Es de esperarse que esta tendencia continúe así hasta el año 2020 por lo que, el melanoma será el tipo de cáncer más

cotidiano. El melanoma es una enfermedad heterogénea, tiene cuatro principales tipos histopatológicos: acral lentiginoso, nodular, diseminado superficial y lentigo maligno. En México, el tipo que más ocurre es el acral lentiginoso (Herrea G., 2010).

1.2. Red neuronal convolucional (CNN Convolutional neural network)

La convolución de una señal temporal o espacial con otra señal produce una versión modificada de la señal inicial. La señal modificada puede tener una mejor representación de características que la señal original adecuada para una tarea específica. Por ejemplo, al convertir una imagen en escala de grises como una señal 2D con otra señal, generalmente llamada filtro o kernel, se puede obtener una señal de salida que contiene los bordes de la imagen original. Los bordes de una imagen pueden corresponder a los límites de los objetos, cambios en la iluminación, cambios en las propiedades del material, discontinuidades en profundidad, etc., que pueden ser útiles para varias aplicaciones. Las CNN se basan en la convolución de imágenes y en la detección de características basadas en filtros que la CNN aprende a través de su entrenamiento (Pattanayak, 2017).

Las CNN, también son conocidas como *convnets*, son un tipo de modelo de aprendizaje profundo que se usa casi universalmente en aplicaciones de visión artificial. Los *convnets* se pueden aplicar a problemas de clasificación de imágenes, particularmente aquellos que involucran conjuntos de imágenes de entrenamiento. Las capas de convolución de una *convnet* aprenden de patrones locales. La característica anterior es clave y le da a los *convnets* dos propiedades interesantes (Chollet, 2018):

1. Los patrones que aprenden son invariantes. Después de aprender un cierto patrón en la esquina inferior derecha de una imagen, un *convnet* puede reconocerlo en cualquier lugar: por ejemplo, en la esquina superior izquierda. Una red densamente conectada tendría que aprender el patrón nuevamente si apareciera en una nueva ubicación.
2. Pueden aprender jerarquías espaciales de patrones. Una primera capa de convolución aprenderá pequeños patrones locales como el borde; una segunda capa de convolución aprenderá patrones más grandes hechos de las características de las primeras capas, y así sucesivamente.

2. Trabajos relacionados

Mahbod et al. (2017) tomaron imágenes disponibles del *ISIC* en 2017. Aplicaron tres pasos de pre-procesamiento en las imágenes. Primero, normalizaron las imágenes restando el valor RGB promedio del conjunto de datos, ya que las redes pre-entrenadas fueron optimizadas para esas imágenes. A continuación, las imágenes se redimensionaron al tamaño apropiado utilizando interpolación bicúbica para alimentar las redes (227 X 227 y 224 X 224). Finalmente, las imágenes aumentaron para tener un conjunto de entrenamiento más grande. Dado que los clasificadores fueron entrenados para un problema de clasificaciones múltiples para las clases de: *melanoma*, *queratosis seborreica* y clases de *nevos* benignos. El rendimiento del clasificador, en términos de precisión (ACC), se midió para 150 imágenes de prueba. El logro de resultados de 79.9% a 89.2% del valor de precisión.

Shoieb et al. (2016) tomaron una *CNN* pre-entrenada en su última fase para clasificar la lesión de piel infectada de acuerdo con las características de la *CNN* para entrenar a un clasificador de múltiples clases y clasificar con una *SVM (Support Vector Machine)*. Seleccionaron cuatro clases de enfermedades de la piel para la validación del sistema. Estas clases son *melanoma*, *carcinoma* de células basales, *eczema* e *impétigo*. El conjunto de datos comprende 134 imágenes, 72 de ellas representan *melanoma*, 64 para *carcinoma* de células basales, 74 *eccemas* y 31 para la enfermedad de la piel por *impétigo*. Los resultados de la clasificación de melanoma y lesiones no melanoma a partir de los datos obtenidos del fueron 94% de precisión, 94% de especificidad y 94% de sensibilidad para melanoma y para no melanomas fue de 94% de precisión, 94% de especificidad y 94 % de sensibilidad.

Yu et al. (2018) hicieron una clasificaccion del melanoma *acral lentiginoso*, ya que es el tipo más común de melanoma en los asiáticos, y generalmente resulta en un mal pronóstico debido a un diagnóstico tardío. Aplicaron una red neuronal convolucional a las imágenes de dermatoscopia de melanoma *acral* y *nevos* benignos. Analizaron un total de 724 imágenes de dermatoscopia que comprendían melanoma *acral* (350 imágenes de 81 pacientes) y *nevos* benignos (374 imágenes de 194 pacientes), confirmados mediante examen histopatológico. Para realizar la validación cruzada doble, dividieron en dos subconjuntos mutuamente exclusivos: la mitad del conjunto de datos de la imagen fue seleccionada para el entrenamiento y el resto para la prueba, y calcularon la precisión del diagnóstico comparándolo con el del dermatólogo y el de no expertos en este tipo de evaluación. La precisión (porcentaje de verdaderos positivos y verdaderos negativos de todas las imágenes) de la red neuronal convolucional fue de 83.51% y 80.23%, que fue mayor que la evaluación de los no expertos (67.84%, 62.71%) y cercana a la de los expertos (81.08%, 81.64%).

Pomponiu y otros utilizaron solo 399 imágenes de una cámara estándar para la clasificación de melanomas versus *nevos* benignos (Brinker et al., 2018). En primer lugar, realizaron el aumento de datos y pre-procesamiento. Posteriormente, aplicaron una *AlexNet* pre-entrenada para la extracción de características representativas. Las lesiones se clasificaron luego con un clasificador vecino más cercano utilizando métricas de distancia de coseno. El algoritmo no se probó con un conjunto de datos de prueba independiente; solo se realizó una validación cruzada. El algoritmo alcanzó una sensibilidad del 92,1%, una especificidad del 95,18% y una precisión del 93,64% (Brinker et al., 2018).

Codella et al. (2015) experimentaron con el método de validación cruzada y realizaron 40 experimentos con 334 imágenes de melanoma y 144 imágenes de *nevos* atípicos, así como 2146 lesiones claramente benignas (2624 en total) tomadas de *ISIC*. Las imágenes se redimensionan a dimensiones de 128x128. Para entrenar a los clasificadores utilizaron un *SVM* no lineal que usa un histograma de intersección de núcleo y *sigmoide*. Las puntuaciones de *SVM* se asignaron a las probabilidades mediante regresión logística en los datos de entrenamiento. Usaron una probabilidad del 50% como un umbral de clasificación binaria. La fusión se lleva a cabo mediante una puntuación media de *SVM* no ponderada (fusión tardía). Los resultados obtenidos con *Caffe CNN* fueron 91.9% de precisión, 90.3% de especificidad y 92.10% de sensibilidad.

Dorj et al. (2018) hicieron una clasificación de los cánceres de piel utilizando una red neuronal convolucional profunda. El conjunto de datos en este estudio se originó en

sitios de Internet relacionados. En este estudio, utilizaron imágenes RGB de cáncer de piel con 500–1000 píxeles, *jpg* y *tiff*. Con un total de 3753 imágenes, que se recopilan de Internet (*google.com y naver.com, baidu.com y bing.com*). Algunas imágenes recopiladas tienen ruidos, como otros órganos o herramientas. Esas imágenes se recortron para reducir los ruidos para un mejor resultado. Las imágenes se agrupan por cuatro tipos de cáncer de piel (*queratosis actínica, carcinoma de células basales, carcinoma de células escamosas y melanoma*) Las imágenes adquiridas se procesaron mediante una red neuronal convolucional profunda, y las características de la red neuronal convolucional obtenida se clasifican en cuatro grupos: *queratosis actínica, carcinoma de células basales, carcinoma de células escamosas y melanoma*. Usaron para la clasificación *ECOC SVM* y utilizaron un modelo de red neuronal convolucional pre-entrenada *AlexNet*. Los resultado fueron para acc: *queratosis Actínicas* 0.92, *carcinoma basocelular* 0.91, *carcinoma de células escamosas* 0.95 y melanoma 0.94.

3. Método propuesto

Para este trabajo, se obtuvieron imágenes del *Dataset* de *ISIC*, donde encontramos melanomas y sus metadatos desde "https://isic-archive.com/". Se prepararon dos conjunto de datos: 600 con metadatos y 600 sin metadatos (ver la tabla 1).

Paquetes	Conjunto	Tipo de Melanoma	Imágenes
Imágenes sin metadatos	Entrenamiento	Melanomas Benignos	200
		Melanomas Malignos	200
	Validación	Melanomas Benignos	100
		Melanomas Malignos	100
Imágenes con metadatos	Entrenamiento	Melanomas Benignos	200
		Melanomas Malignos	200
	Validación	Melanomas Benignos	100
		Melanomas Malignos	100

Tabla 1 – Conjuntos de imágenes con y sin metadatos; las imágenes son las mismas

En este caso se usaron 600 imágenes del *Dataset* del *ISIC*. Se tomaron las 600 imágenes para el primer grupo. Luego, a las mismas imágenes se le agregaron los metadatos para el segundo grupo. Con las imágenes se aplicaron las siguientes tres técnicas. Al final de cada técnica se usaron 40 imágenes tomadas al azar (20 de melanomas benignos y 20 de melanomas malignos), las cuales no estuvieron presentes en entrenamiento ni validación de la CNN. Se tomó esta muestra de 40 imágenes para asegurarse que la CNN clasificara imágenes nunca antes vistas por ella misma.

3.1. Técnica 1

Para esta técnica se añadieron los metadatos de: edad, género y tamaño del melanoma dentro de la matriz de pixeles a 600 imágenes, duplicando dichos metadatos.

En la Figura 1 se muestran las imágenes con metadatos y sin metadatos. En a) se muestran las imágenes originales desde *ISIC* mientras que en b) se muestran las imágenes con los metadatos añadidos repetidamente en las últimas 50 filas, por lo que, se puede ver una banda de colores en cada imagen.

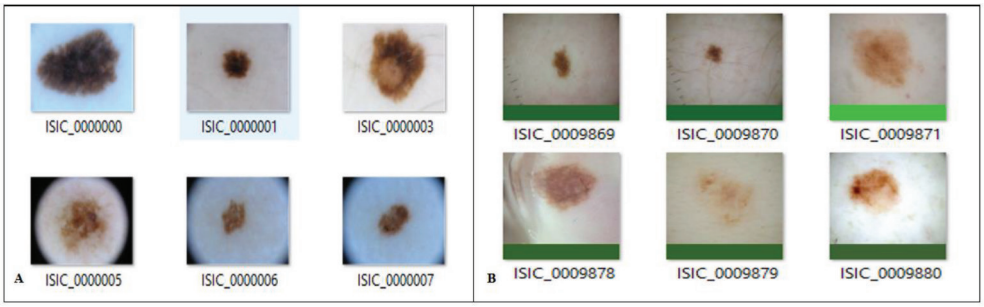


Figura 1 – A*) Matriz de imágenes sin metadatos. B) Matriz de imágenes con metadatos*

Se ejecutó una *CNN, c*on los siguientes parámetros: 8 épocas, 350 de altura, 300 de ancho, para las imágenes con metadatos y 300 de altura, 300 de ancho para las imágenes sin metadatos; 128 de *batch_size*, 2 clases, 1000 *step_train*, 300 *step_validation*, 32 *filter_Conv1*, 64 *filter_Conv2*, (3, 3) de *size_Filter*, (2, 2) de *size_Filter2* y (2,2) de *size_Pool*. Dos capas de convoluciones, en la Figura 2 se observa la arquitectura de la *CNN*.

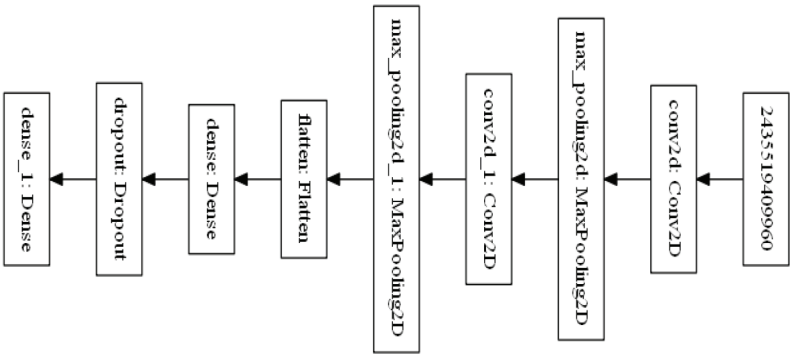


Figura 2 – Arquitectura de la *CNN*

Una vez que se hizo en entrenamiento con la *CNN* se obtuvieron las salidas que se muestran en la Tabla 2 en la que se observan los resultados sin metadatos; *Acc* se refiere al *accuracy* (precisión) de 99.40%, *Val_Acc* del 64.00% a la precisión de la validación, por otro lado un 0.0177 del valor de *loss* se refiere a la función de perdida, y un 2.7167 de *Val_loss* a la función de pérdida de la validación.

	Salidas sin metadatos				Salidas sin metadatos			
Épocas	**Acc**	**Val_Acc**	**Loss**	**Val_loss**	**Acc**	**Vcal_Acc**	**Loss**	**Val_loss**
1	80.55%	68.50%	57.72%	89.27%	87.27%	78.50%	31.89%	57.47%
2	94.61%	65.00%	14.86%	131.44%	96.28%	77.00%	9.96%	92.77%
3	98.25%	65.00%	5.65%	179.03%	98.08%	78.50%	5.58%	120.50%
4	99.00%	62.00%	3.26%	201.52%	98.89%	79.50%	3.41%	129.10%
5	99.05%	65.50%	3.04%	203.11%	99.28%	79.00%	2.12%	129.93%
6	99.19%	66.00%	2.43%	250.44%	99.06%	82.50%	2.79%	124.01%
7	99.33%	65.00%	2.21%	228.89%	99.48%	76.50%	1.53%	160.71%
8	99.40%	64.00%	1.77%	271.67%	99.54%	80.50%	1.35%	154.90%

Tabla 2 – Salidas sin metadatos y con metadatos

Durante las ocho épocas se puede observar un mejor comportamiento sobre todo en Val_Accuracy. En la Figura 3 se observan las gráficas de la tabla en la cual se muestra el comportamiento de Accuracy y Val_Accuracy.

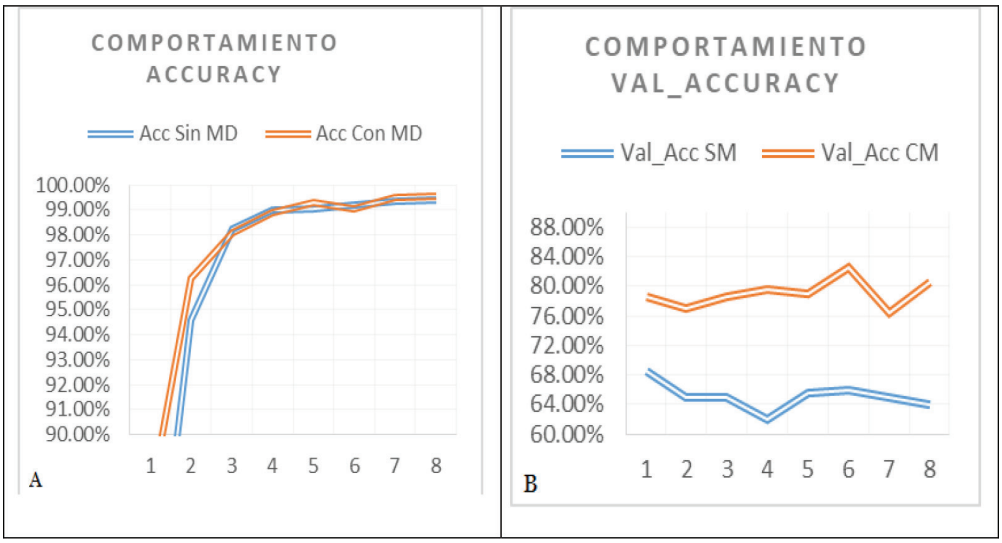


Figura 3 – Gráficas: A) con metadatos (Con MD) y sin metadatos (Sin MD) de Accuracy y B) con metadatos (CM) y sin metadatos(SM) Val_Accuracy

Al final, se hicieron pruebas con 40 imágenes (20 con metadatos y 20 sin metadatos, 10 malignas y 10 benignas para cada caso) no incluidas en el entrenamiento ni validación y los resultados fueron una precisión 77.5% en el escenario sin metadatos y 77.5% en el escenario con metadatos.

3.2. Técnica 2

Para la siguiente técnica, se quitó la piel de las imágenes. Se usaron 400 para el entrenamiento; 200 malignas y 200 benignas. Para la validación se usaron 200 imágenes 100 malignas y 100 malignas. En la Figura 4 se pueden observar ejemplos de algunas imágenes.

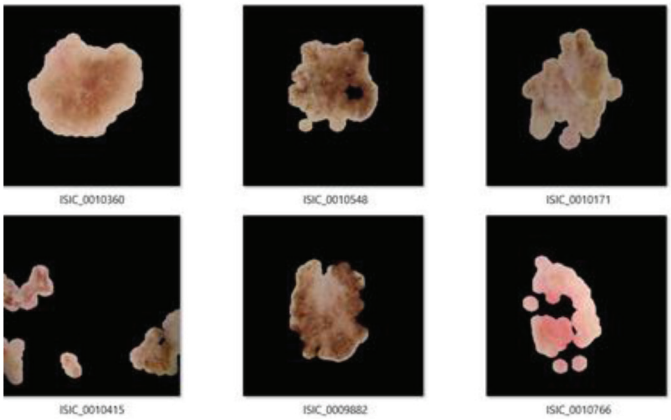


Figura 4 – Ejemplo de imágenes sin piel

El algoritmo usado permitió detectar la piel y segmentar los melanomas. En este caso en lugar de piel existe un fondo negro. Los parámetros para esta ejecución fueron los siguientes: Epocas 8, altura 300, ancho 300, *batch_size* 32, pasos 1000, pasos_validacion 600, *filtrosConv1* 32, *filtrosConv2* 64, *tamano_filtro1* (3, 3), *tamano_filtro2* (2, 2), *tamano_pool* (2, 2).

Se aplicó la CNN con 8 épocas y se obtuvieron salidas que se muestran en la Tabla 3.

Épocas	Acc	Val_Acc	Loss	Val_loss
1	0.8585	0.6798	0.3264	0.3264
2	0.9769	0.6598	0.0686	1.7079
3	0.9873	0.6702	0.0359	1.8166
4	0.9898	0.6201	0.0269	2.1192
5	0.9926	0.6449	0.0202	2.2588
6	0.9937	0.6350	0.0172	2.5145
7	0.9942	0.6900	0.0163	2.5394
8	0.9954	0.6551	0.0111	2.9813

Tabla 3 – Resultados de imágenes sin piel

Se observa una alta precisión en el entrenamiento, pero muy bajo durante la validación. Al evitar la piel, se esperaban mejores resultados que la técnica 1. En la Figura 5 y 6 se observa las gráficas con el comportamiento de *Accuracy* y *Val_Accuracy*.

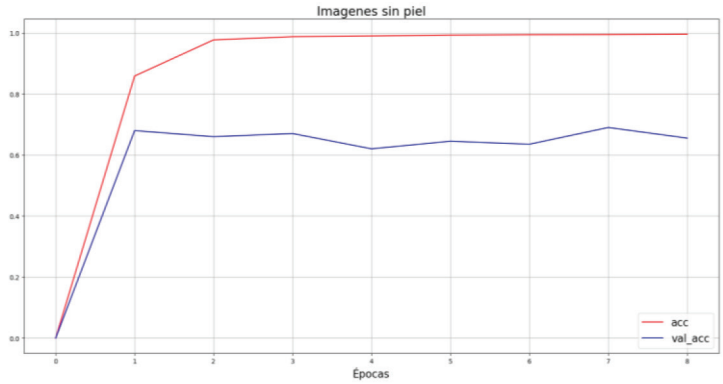


Figura 5 – Gráfica de acc y val_acc de la técnica 2 imágenes sin piel

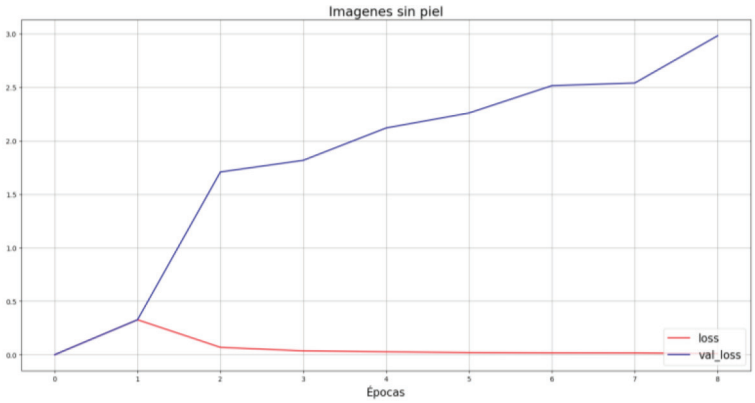


Figura 6 – Gráfica de loss y val_loss de la técnica 2 imágenes sin piel

Los valores de *Accuracy* se estabilizaron en más del 99% mientras que *Val_Accuracy* una vez que superó el 80% se estabilizó. En la Figura 6 es posible observar que el valor de *loss* tiende a cero, pero no así en la validación.

Se prosiguió a probar con 40 imágenes (20 malignas y 20 benignas) no incluidas en el entrenamiento ni validación y los resultados fueron 67.50% en el *Acc*.

3.3. Técnica 3

Para la tercera técnica, se usaron 600 imágenes obteniendo salidas poco satisfactorias, por lo que atendiendo a la filosofía de las CNNs de que se requieren una gran cantidad de imágenes. Por lo que, se procedió a aumentar al doble. Su ejecutó la CNN con los

siguientes parámetros: 1200 imágenes (400 malignas y 400 benignas) de entrenamiento. 400 imágenes de validación (200 malignas y 200 benignas), se aumentó la cantidad de imágenes. Longitud =300, altura = 300, *batch_size* = 20 pasos = 1000 pasos_validacion = 300 *filtrosConv1* = 32 *filtrosConv2* = 64. Se pueden observar el tipo de imágenes en la Figura 7.

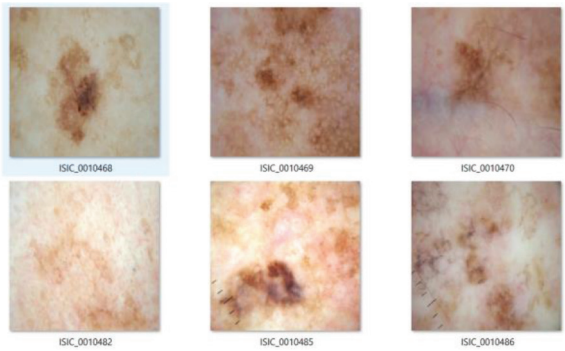


Figura 7 – Tipo de imágenes usadas para la técnica 3

En esta técnica se tomaron las imágenes si algún pre-procesamiento desde ISIC. Los resultados de la prueba se observan en la Tabla 4

Épocas	ACC	VAL_ACC	Loss	Val_loss
1	0.7160	0.8100	0.6311	0.4821
2	0.7701	0.8725	0.4622	0.3744
3	0.8108	0.8650	0.4016	0.3667
4	0.8517	0.8325	0.3301	0.4619
5	0.8863	0.8525	0.2695	0.5041
6	0.9152	0.8475	0.2097	0.617
7	0.9361	0.7825	0.1678	0.7229
8	0.9489	0.8225	0.1313	0.7594

Tabla 4 – Resultados de la prueba 3

En este caso el valor más alto obtenido fue de 94.89% y apenas del 82.25% durante la validación. En la Figura 8 se observa el comportamiento de *Accuracy* y *Val_Accuracy*.

La tendencia de Accuracy muestra una tendencia ascendente. Con más épocas podría mejorar la precisión, sin embargo, se ejecutaron solo 8 épocas para coincidir con las

técnicas 1 y 2. En esta tercera técnica, se hicieron pruebas las 40 imágenes (20 malignas y 20 benignas) no incluidas en el entrenamiento ni validación y los resultados fueron 80% en el Acc.

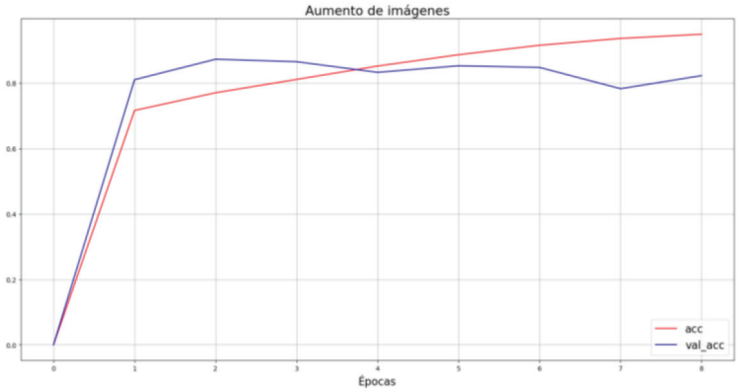


Figura 8 – Gráfica de acc y val_acc de la técnica 3

4. Resultados y comparación

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos durante los entrenamientos comparativos de las tres técnicas usadas, y otros trabajos.

Nuestros resultados	**ACC**	**Val_Acc**
1 Sin metadatos	99.40	64.00
1 Con metadatos	**99.54**	**80.50**
2 Sin piel	99.54	65.51
3 Sin pre-procesamiento	94.89	82.25
Otros trabajos		
Mahbod (Mahbod , Ecker & Ellinger, 2017)	0.89	
Shoieb (Shoieb, Youssef & Aly, 2016)	0.94	
Yu (Yu et al., 2018)	0.83	
Pomponiu (Brinker et al., 2018)	0.93	
Codella (Codella, Cai, & Garnavi, 2015)	0.91	
Dorj (Dorj, Lee y Choi, 2018)	0.94	

Tabla 5 – Comparativa de las tres técnicas con otros trabajos

En el caso de otros trabajos relacionados se encontraron resultados reportados de *Accuracy* y *Val_Accuracy*, pero no reportaron pruebas con otras imágenes. En la Tabla

6 se muestran los resultados comparativos de las tres técnicas usadas, con imágenes nunca vista por el entrenamiento ni validación de la CNN.

Técnica	ACC
1 Sin metadatos	77.50
1 Con metadatos	77.50
2 Sin piel	67.50
3 Aumento de imágenes	**80.00**

Tabla 6 – Comparativa de las tres técnicas

5. Conclusiones

Una vez obtenidas las salidas de los algoritmos podemos resumir que: durante el entrenamiento las técnicas arrojaron las siguientes salidas: 99.40% sin metadatos, 99.54% con metadatos, 99.54% sin la piel y 94.89 con más imágenes. Por otro lado, en la validación se observaron las siguientes salidas: el 64.00% sin metadatos, 80.50 con metadatos, 65.51% sin la piel y el 82.25% con más imágenes. Con estas salidas podríamos concluir que la mejor técnica es cuando se agregaron metadatos en las imágenes.

Sin embargo, se hicieron pruebas con imágenes que no estuvieron presente durante el entrenamiento ni durante la validación y se obtuvieron las siguientes salidas: el 77.50% sin metadatos, el 77.50% con metadatos, el 67.50 sin piel y el 80.00% con más imágenes. Por lo que, se puede concluir que la mejor técnica fue al añadir más imágenes a la *CNN*. Además, la tendencia del *Accuracy* es creciente, por lo que al aplicarse más épocas podría mejorar el 80% obtenido.

Por lo tanto, se concluye que el uso de una *CNN* no requiere pre-procesamiento especial en las imágenes y que basta usar el mayor número posible de imágenes así como de épocas con la finalidad de encontrar el mejor desempeño.

Como trabajos futuros se ha planteado: usar más imágenes y más épocas para mejorar el 80.00% de precisión; por otro lado, se usarán *CNN* pre-entrenadas con el fin de encontrar la mejor técnica para una implementación a nivel clínico.

Referencias

Shoieb, A., D., Youssef M., S., & Aly M., W. (2016). Computer-Aided Model for Skin Diagnosis Using Deep Learning. *Journal of Image and Graphics*. (4), 116–121. doi:10.18178/joig.4.2.122-129

Brinker, T. J., Hekler1, A., Utikal, J. S., Grabe, N., Schadendorf, D., Klode, J., & Kalle, C. V. (2018). Skin Cancer Classification Using Convolutional Neural Networks: Systematic Review. *Journal of medical internet research, 10*. doi:10.2196/11936

Burr, C., Piñó, A., Quiroz L. A., & Martín-Lunas, E. (s.f.). *Asociación de Salud y Bienestar Social De la Mujer y su Familia*. Recuperado el 01 de 04 de 2019, de http://asbis.org.mx/PDF/guiapacienteparticipativo.pdf

Chang, H. (2017). *Cornell University*. Recuperado el 28 de 02 de 20019, de https://arxiv.org/abs/1703.00534

Codella, N., Cai, J., & Garnavi, R. (2015). Deep Learning, Sparse Coding, and SVM for Melanoma Recognition in Dermoscopy Images de Machine Learning in Medical Imaging. Cham: *Springer*. Recuperado el 01 de 03 de 2018, de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24888-2_15

Herrea, G., N. E. (2010). El melanoma en México. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, 15*(3), 161-164. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47316054010

Mahbod, A., Ecker R., & Ellinger, I. (2017). *Cornell University*. Recuperado el 28 de 02 de 2019, de https://arxiv.org/abs/1702.08434

Organización Mundial de la Salud. (2018). Obtenido de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic

Pattanayak, S. (2017). Pro Deep Learning with TensorFlow A Mathematical Approach to Advanced Artificial Intelligence in Python. India: *Apress*.

Tarriba, J. E., Plata, A. M., Baldín, A. V., & Campo, A. A. (2017). Diagnóstico y tratamiento. *Acta médica Grupo Ángeles*. *15*(2), 154-160. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de http://www.scielo.org.mx/pdf/amga/v15n2/1870-7203-amga-15-02-00154.pdf

Yang, X., Zen, Z., Yeo Yong, S., Tan, C., Tey Liang, H. & Su, Y. (2017). *Cornell University*. Recuperado el 01 de 02 de 2019, de https://arxiv.org/abs/1703.01025

Yu, C., Yang, S., Kim, W., Jung4, J., Chung, K.-Y., Lee3, S. W. & Oh, B. (2018). Acral melanoma detection using a convolutional neural network for dermoscopy images. *PLoS ONE*. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193321

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 21/05/2019
Aceitação/Acceptance: 26/07/2019

Estimación del tiempo de evacuación ante una emergencia en un centro educativo basado en un enfoque de red neuronal

Manolo Córdova-Suárez[1], Franklin Tigre-Ortega[1], Sandra Carrillo-Ríos[1], Diego Quesada-Revelo[1], Luis Tapia-Vasco[1].

ma.cordova@uta.edu.ec, fg.tigre@uta.edu.ec, sandralcarrillor@uta.edu.ec, dr.quesada@uta.edu.ec, lj.tapia@uta.edu.ec.

[1] Universidad Técnica de Ambato, Los Chasquis y rio Payamino 1281, 1781421, Ambato, Ecuador.

Pages: 28–39

Resumen: La estimación del tiempo de evacuación de emergencias en lugares públicos se convierte en un aspecto relevante para la administración de desastres. Esta investigación se centra en la estimación correcta de las tasas de respuesta de evacuación en emergencias considerando elementos macroscópicos, supuestos del comportamiento, asignación de circulación, estrategias de gestión de la oferta y la demanda en la actuación humana y condiciones estructurales de los emplazamientos. Para la predicción del tiempo de evacuación se utilizó una Red Neuronal Artificial con un Perceptrón Multicapa denominado de Retropropagación. Los datos de alimentación para la Red Neuronal Artificial se tomaron de 10 ejercicios prácticos de evacuación realizados en condiciones de trabajo máximas a una población de 18000 ocupantes de cuatro campus universitarios de la Universidad Técnica de Ambato. Posterior a la aplicación del algoritmo en este caso de estudio se comprobó valores sobre el 80% de certeza a los valores reales.

Palabras-clave: Tiempo; evacuación; red neuronal; universidad; emergencia.

Estimation of evacuation time in an emergency in an educational center based on a neural network approach

Abstract: The abstract should not exceed 150 words. You can use this document as the basis for final editing of the article to submit. The estimation of emergency evacuation time in public places becomes a relevant aspect for disaster management. This research focuses on the correct estimation of emergency evacuation response rates considering macroscopic elements, behavior assumptions, circulation allocation, supply and demand management strategies in human performance and structural conditions of the sites. For the prediction of evacuation time, an Artificial Neural Network with a Multilayer Perceptron called Back Propagation was used. The feeding data for the Artificial Neural Network were taken from 10 practical evacuation exercises carried out under maximum working conditions to a population of 18,000 occupants of four university campuses of the Technical

University of Ambato. After the application of the algorithm in this case study, values over 80% certainty of the real values were checked.

***Keywords**:* Time; evacuation; neuronal network; university; emergency.

1. Introducción

Los accidentes en un edificio o área determinada como incendios, sismos, inundaciones, entre otros ponen en riesgo vidas humanas (Zheng et al., 2009). El movimiento de personas en situaciones de amenaza es muy crítico para salvar vidas; es fácilmente discernible que durante tales crisis es más probable que el evacuado no piense clara y lógicamente originando una evacuación desorganizada incrementando la probabilidad de sufrir lesiones, confusión e incluso la muerte (Sharma, 2009).

Las condiciones de construcción de los edificios, así como la densidad de ocupación de los mismos, dificultan el movimiento físico y la correcta percepción de las señales existentes, modificando la conducta de los ocupantes en caso de una evacuación. A su vez la falencia de medidas pasivas para alertar a los ocupantes en caso de emergencia fomenta reacciones de pánico que empeora el problema (Arribas, Piñeiro, Cosma, & Morillo, 2010).

Por otro lado las características de los ocupantes en edificios de múltiple concurrencia determinan una enorme variedad de aspectos a considerar en caso de una emergencia, entre los que se encuentran: edad, movilidad, percepción, conocimiento y disciplina (Navia, 2008). Adicional a esto, la existencia de personal foráneo que no está familiarizado con estos entornos, dificulta la localización de salidas, de pasillos o vías que conducen a ellas, o de cualquier otra instalación de seguridad que se encuentre en dichos locales, subiendo el nivel de riesgo en caso de una evacuación (Villavicencio Rodríguez, 2013). De esta forma, la variabilidad de personas complica los supuestos del comportamiento durante todo el proceso de evacuación y aumenta la asignación de recursos para poder estimar de manera real el tiempo de evacuación para mejorar la gestión de riesgos en los emplazamientos.

La evacuación en lugares con edificaciones complejas o de gran volumen no viene afectadas solo por parámetros de movimiento o de infraestructura sino que dependen también del comportamiento del individuo por el entrenamiento cognitivo del entorno (orientación) (Vilar et al., 2020) y su interacción con el exterior y los otros ocupantes presentes en el evento (Rossetti & Sattar, 2011). Esta conducta individual puede verse influenciada por vínculos sociales, asunción de ciertos roles pero principalmente se determina por la presencia de terceros en la toma de decisiones (Capote, Alvear, Abreu, Lázaro, & Cuesta, 2009) . Las estrategias de oferta demanda en el evento no deseado influyen en forma determinante en la toma de decisiones de los individuos, es así que la presencia de personal capacitado para salvamento y la información que reciba el sujeto en el evento determinan un tiempo de llegada hasta el punto de reunión o sitio seguro (Fatmagul, 2012).

El uso de recursos de todo tipo en un evento emergente dificulta la estimación del tiempo de evacuación en un complejo universitario de gran magnitud. Esto se puede optimizar con la aplicación de técnicas matemáticas y herramientas computacionales para simular y diseñar la evacuación de emergencia y egreso del personal involucrado (Pan, Han, Dauber, & Law, 2007) pero la escasez de datos sobre el comportamiento humano y social en este tipo de evento y los costos de los programas hace que estas herramientas sean de uso limitado.

El análisis computarizado de la evacuación persigue tres enfoques: la optimización, la simulación y la evaluación de riesgos. De los 22 modelos de análisis de evacuación más conocidos ninguno aborda todos los factores relacionados en el comportamiento de la evacuación (Gwynne, Galea, Owen, Lawrence, & Filippidis, 1999). Las redes neuronales artificiales (RNA) son una alternativa al uso de estos programas ya que teniendo datos conocidos se puede inferir una respuesta desconocida. La RNA es un método inteligente utilizado para analizar los mecanismos complejos de la evacuación. Con la capacidad de autoaprendizaje estos métodos dan una alternativa fiable a la estimación del tiempo de evacuación y mejorar la gestión de las emergencias de grandes masas de personas (Zhao et al., 2019). Este trabajo contempla el uso de RNA para estimar el tiempo de evacuación con el uso de la información generada en simulacros simultáneos realizados en cuatro campus universitarios con diez facultades, y la participación de un aproximado de 18000 personas en el mismo.

2. Marco Teórico

El estudio empírico de la evacuación pública y la respuesta a las advertencias de emergencia se ha desarrollado durante varias décadas (Sorensen y Mileti, 1988). Actualmente, las interacciones entre los evacuados y las fuentes de emergencia se han representado a través del modelado, esto se debe a que, no se dispone de datos de evacuaciones reales (Zheng, Zhong & Liu, 2009). La estimación del tiempo de evacuación en emergencias ocurridas en lugares públicos se convierte en un aspecto relevante para la administración de desastres en las últimas décadas (Li, Fang, Li, & Zong, 2010). El modelado predictivo se puede extraer de estadísticas, base de datos, técnicas de optimización, aprendizaje automático, etc. En las últimas dos décadas, los estudios se han enfocado al uso de la RNA, para la estimación, predicción de datos, partiendo con datos conocidos. Una RNA consiste en un grupo interconectado de información de neuronas y procesos utilizando un enfoque conexionista para el cálculo. Este proceso se asemeja al proceso de sinapsis neuronal en el cerebro humano; ver figura 1.

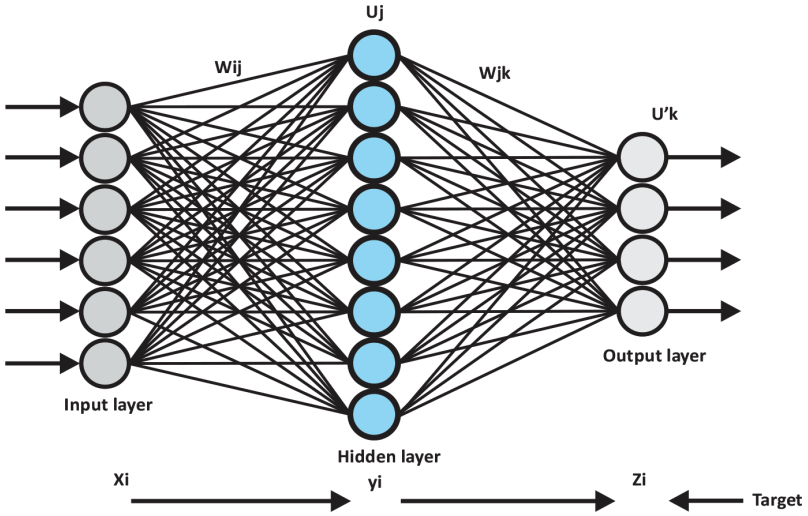


Figura 1 – Red Neuronal Artificial

La RNA es un sistema variable que altera su estructura según la información externa o interna que fluye a través de la red durante la frase de aprendizaje (variables de entrada), los datos de entrenamiento de entrada / salida son esenciales para la RNA, debido a que trasfieren la información necesaria para "descubrir" el punto óptimo de operación. Finalmente se establece una respuesta deseada u objetivo correspondiente en la salida.

La RNA presenta un error debido a la diferencia entre la respuesta deseada y la salida del sistema. La información de error se devuelve al sistema. Este proceso internamente se repite hasta que el rendimiento sea aceptable y los parámetros se vuelvan fijos (Gutiérrez-Estrada, 2004).

El modelo más utilizado es el RNA de Retro Propagación (RNARP), debido a, su bajo porcentaje de error absoluto, comparado contra el modelo de Red Neuronal General de Regresión (RNGR) que posee un porcentaje de error absoluto de 6,7% (Wan et al., 2017). Por esa razón, esta investigación propone una aproximación al tiempo de evacuación mediante el uso de redes neuronales artificiales con retro propagación, enfocándose en la estimación correcta de las tasas de respuesta de evacuación (Bayram, 2016).

3. Metodología

Se aplicó la siguiente metodología.

3.1. Determinación de la muestra.

Se utilizó un muestreo estratificado para separar la población en segmentos exclusivos (Owusu-Kwateng, Abdul Hamid, & Debrah, 2017), homogéneos (estratos) en este caso 10 Facultades ubicadas en 4 Campus de Estudios diferentes geográficamente, luego se trabajó con toda la población para minimizar el grado de error en los resultados.

3.2. Estimación del tiempo de evacuación.

La estimación se realizó utilizando el enfoque de la simulación con Red Neuronal Artificial RNA como uno de los análisis de evacuación más utilizados para movimientos de masas de población (You, Hu, Gu, Fan, & Zhang, 2016). Las neuronas formadas con la programación y modelos matemáticos actúan en grupo y al mismo tiempo en el procesamiento de todos los datos de entrada para luego sumarlos con funciones de activación no lineales, la ecuación 1, representa la respuesta de la Neurona Artificial.

$$y = (\sum_k w_n \, x_n) \tag{1}$$

Donde:

x_n: Señal de salida de otros nodos de entradas

w_n: Pesos de cada conexión

y: Función no lineal

Para facilitar las aproximaciones, se utiliza la función de activación Tan-Sigmoid para pasar la sumatoria de los pesos de cada neurona, como mejor opción ante la Gaussiana (Alegre, 2003), tal y como se puede apreciar en la ecuación 2.

$$tansig(x, y) = \frac{2}{1+e^{2(x+y)}} - 1 \quad (2)$$

Donde:

x: Vector de entrada para el caso de estudio los datos del simulacro

y: Parámetros de la función; para el caso de estudio: el tiempo de evacuación

La RNA (Fig 2.) utilizada en este proyecto utiliza un paradigma de aprendizaje supervisado en una red Perceptrón, aplicando la característica multicapa en donde las capas ocultas realizan un procesamiento más complejo de vector de entrada x(n), con la función Tan-Sigmoid como activación no lineal de la neurona. El algoritmo utilizado se denomina Back Propagation, el que se basa en la regla delta para corregir el error instantáneo (Valencia Reyes, 2007), como se muestra en la ecuación 3. El número de capas ocultas se escogió a prueba y error y es el número de neuronas internas que aportan cada una al aprendizaje automático por medio de los pesos.

$$e_{inst}(n) = \frac{1}{2}\sum_{j \in C} e\,j^2(n) \quad (3)$$

Donde:

C: vector de neuronas de la capa de salida

n: Número de muestras con las que se entrenó a la RNA

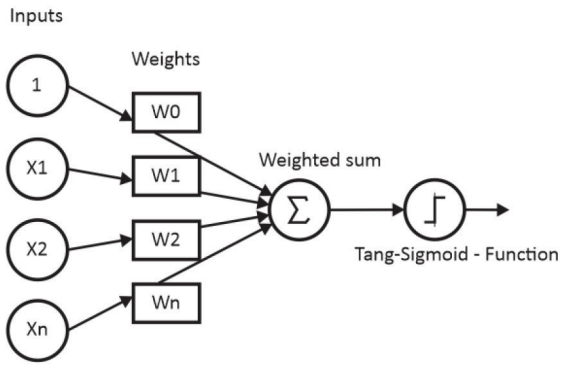


Figura 2 – Representación de la RNA con la función Tang-Sigmoid utilizada

Para que el modelo de Red Neuronal con Retro propagación RNRP de predicciones precisas se identificó los parámetros que afectan al tiempo de evacuación de los edificios (Bayram, 2016) siendo los relacionados con los elementos macroscópicos, supuestos del comportamiento, asignación de circulación, estrategias de gestión de la oferta y la demanda en la actuación humana y condiciones estructurales de los emplazamientos. Se los codificó de la siguiente: (A) accionamiento de la alarma; (B) la población colaboró

rápida y espontáneamente al escuchar la alarma; (C) la población evacuó ordenada, rápidamente y con seguridad hacia el punto de encuentro; (D) la población colaboró con los brigadistas de evacuación en todo momento de la evacuación; (E) se evacuó bajando las gradas por la derecha de la manera predeterminada; (F) hubo seriedad y agilidad al momento de realizar la evacuación tanto los brigadistas como el personal en general; (G) en el punto de encuentro se evidenció organización, orden y colaboración; (H) en el punto de encuentro se realizó al menos el conteo de personal evacuado; (I) el personal evacuado tenía claro conocimiento del plan de evacuación, ruta de evacuación, punto de encuentro; (J) los evacuados permanecieron en el punto de encuentro en grupos, junto con sus guías, profesores; (K) observó si los puntos focales y los brigadistas actuaron; (L) hubo colaboración de las autoridades locales; (M) existió entrenamiento de las brigadas; (N) área útil de la facultad expresada en m^2; (O) número de accesos inferiores de emergencia; (P) número de pisos de la facultad; (Q) número de bloques por facultad (Li, Fang, Li, & Zong); (R) distancia más lejana al punto de encuentro en metros; (S) distancia más cercana al punto de encuentro en metros; (T) cantidad de trabajadores y profesores; (U) número de estudiantes; (v) cantidad de puntos focales; (W) número miembros de brigada.

Las facultades se representaron con letras así: Ingeniería civil y mecánica (1), Ciencias humanas y de la educación (2), Contabilidad y auditoría (3), Ciencias administrativas (4), Arquitectura y artes (5), Ingeniería en alimentos (6), Jurisprudencia y ciencias sociales (7), Ciencias de la salud (8), Ingeniería en sistemas electrónica e industrial (9), Ciencias agropecuarias (10).

4. Resultados

4.1. Resultado del cálculo del tamaño de la muestra

El tamaño de muestra fue designado según los 10 estratos (facultades), para su cálculo respectivo se tuvieron en cuenta los parámetros establecidos en la sección de metodología. El tamaño de la población utilizada se determinó a partir de 15717 personas que diariamente se encuentran en los 3 campus de la Universidad Técnica de Ambato. El número de muestra (número de personas) y el porcentaje que representa cada estrato se muestra en la tabla 1.

Estrato/Facultad	Número de muestra	Porcentaje (%)
Ingeniería civil y mecánica	1322	8,41
Ciencias humanas y de la educación	2386	15,18
Contabilidad y auditoría	2079	13,23
Ciencias administrativas	1495	9,51
Arquitectura y artes	751	4,78
Ingeniería en alimentos	941	5,99
Jurisprudencia y ciencias sociales	1319	8,39
Ciencias de la salud	3291	20,94
Ingeniería en sistemas electrónica e industrial	1381	8,79
Ciencias agropecuarias	752	4,78
TOTAL	15717	100

Tabla 1 – Tamaño de muestra

4.2. Resultado de la determinación de las variables de entrada para la RNRP

A partir de los valores reales del simulacro de evacuación se observa en la Tabla 2 los valores seleccionados como variables de entrada para la estimación del tiempo de evacuación, donde los ítems A-M se miden en porciento.

Ítem	FACULTAD									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	100	100	100	100	100	100	100	100	86	100
B	75	0	100	50	75	0	100	29	14	100
C	100	25	50	50	25	0	33	29	29	100
D	100	0	100	50	25	50	33	57	57	50
E	50	50	50	100	75	50	33	57	14	75
F	50	0	50	50	0	50	0	0	100	50
G	50	0	50	50	50	0	0	0	14	100
H	25	0	75	0	25	0	0	0	0	75
I	50	25	50	50	25	50	66	29	29	25
J	50	25	50	50	25	50	66	50	29	25
K	50	235	100	0	25	50	33	14	14	75
L	0	25	75	75	25	50	33	71	43	25
M	75	100	100	75	100	75	100	75	50	75
N	2260	4877	3059	5203	1604	4051	2014	918	4520	450000
O	2	8	2	4	1	3	2	14	5	5
P	4	4	5	3	3	3	3	5	8	3
Q	2	2	2	3	1	1	2	9	2	5
R	20	36	88	30	21	42	48	102	78	58
S	18	14	53	8	21	28	13	28	48	21
T	99	143	117	93	58	95	97	276	102	80
U	1201	2224	1940	1379	677	827	1201	2991	1260	655
V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W	21	18	21	22	15	18	20	23	18	16

Tabla 2 – Determinación de variables de entrada para estimación de evacuación

4.3. Resultado del entrenamiento de la RNRP

Las figuras 3 y 4 representan el error de la estimación del tiempo de evacuación con la ejecución de la RNRP.

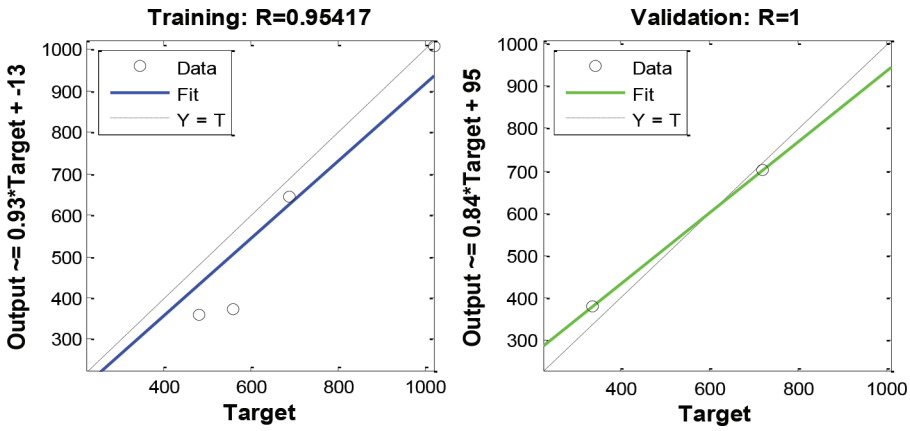


Figura 3 – Primer entrenamiento del error del tiempo de evacuación

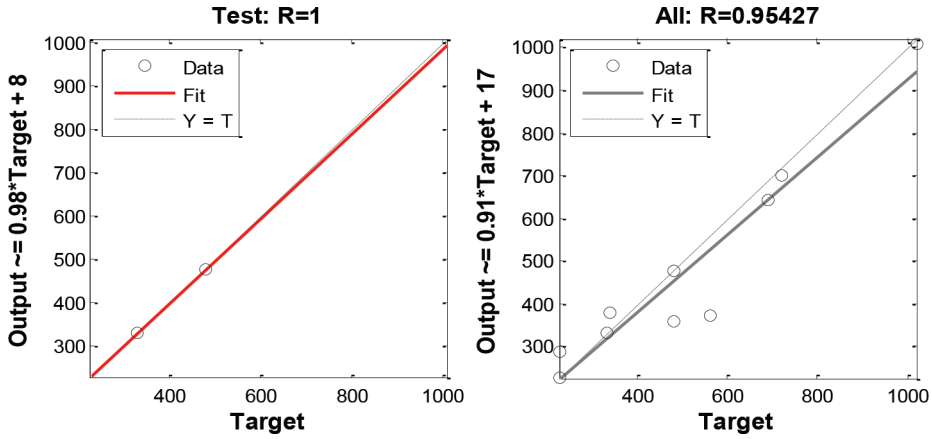


Figura 4 – Segundo entrenamiento del error del tiempo de evacuación

4.4. Resultado del análisis estadístico

La diferencia significativa entre el tiempo de evacuación y las facultades se estudió aplicando la prueba de comparación de TUKEY (ver Figura 5.) considerando un 95% de nivel de confianza (Pitarque, Ruiz, & Roy, 2000).

Se encontró cuatro subgrupos homogéneos: C, BC, AB y A. En el primer subgrupo se encuentra el accionamiento de la alarma (A) con un nivel de cumplimiento promedio del 98,7%, en el segundo subgrupo se encuentra el Entrenamiento (M) con un nivel promedio de cumplimiento del 73,5%.

En el tercero y cuarto grupo se encuentran las variables: E, B, D, C, L, J, I, K, F, G y H con niveles promedio de cumplimiento entre 55,5% a 20%.

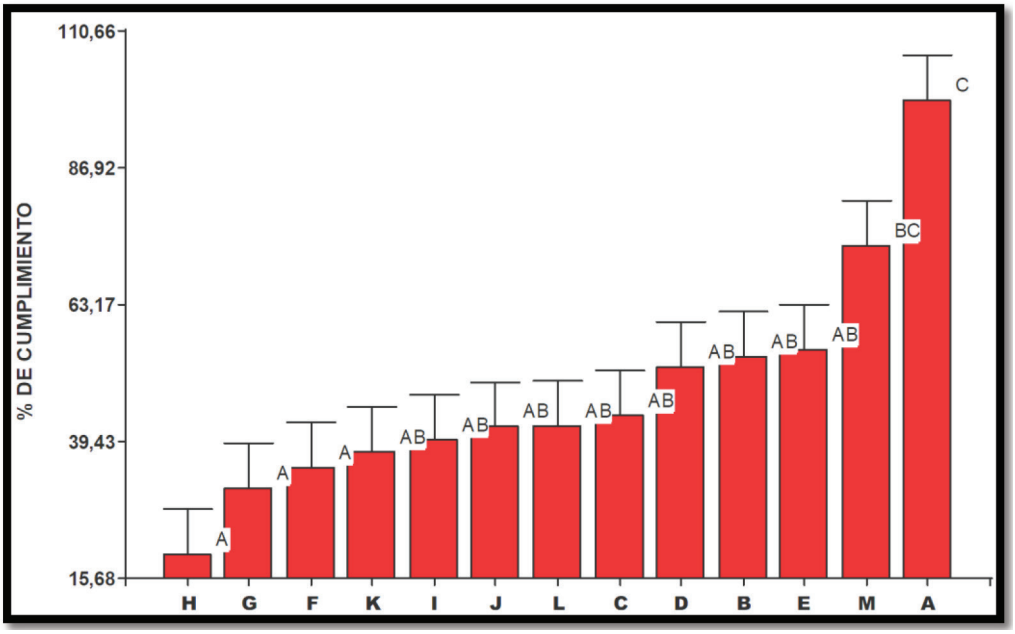


Figura 5 – Interacción con TUKEY entre del tiempo de evacuación y Facultades

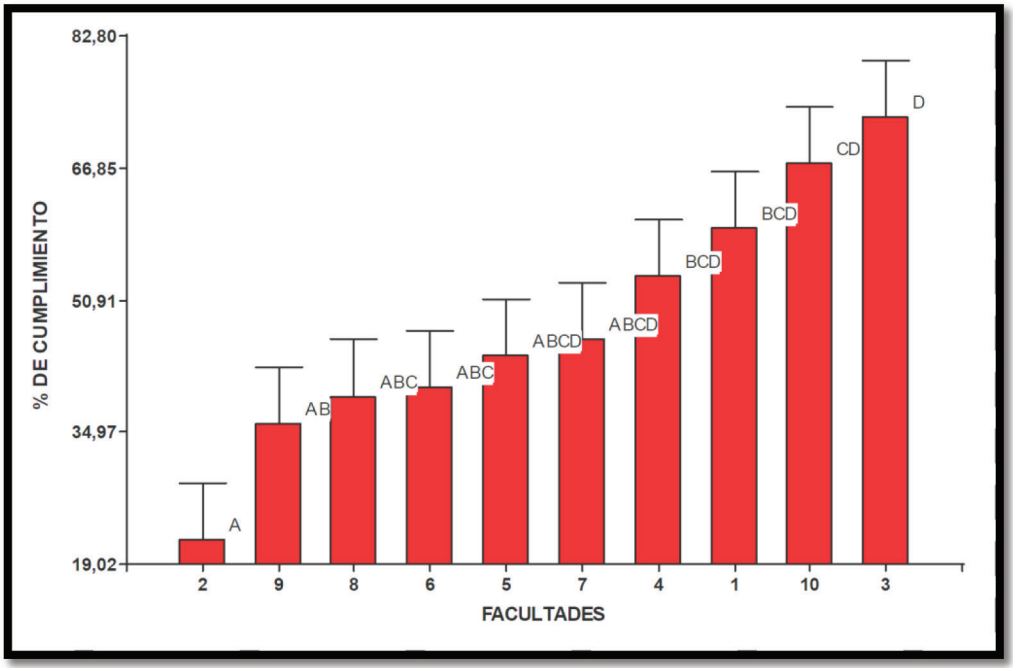


Figura 6 – Interacción TUKEY por Facultades

En la comparación múltiple de Tukey para el porciento de cumplimiento de los ítems por cada facultad (ver figura 6), se observa que solo la facultad de Contabilidad y Auditoría cumple en un promedio de 73,08% con las 13 variables de emplazamiento analizadas, que utilizó 225 segundos para evacuar a 2079 personas de su edificio que consta de dos bloques con dos accesos inferiores de emergencia y 5 pisos.

El porcentaje promedio de cumplimiento a las variables de emplazamiento más bajo (21,92%) es para la facultad de Ciencias humanas y de la educación, que utilizó 225 segundos para evacuar a 2386 personas de su edificio que consta de dos bloques con ocho accesos inferiores de emergencia y 4 pisos.

5. Discusión

La aplicación de RNRP para estimar tiempos de evacuación implica tener resultados reales de simulacros condiciones críticas cosa que es muy costoso replicar en lugares de múltiple concurrencia, por lo que los profesionales en prevención de riesgos deben aprovechar los simulacros planeados en el año para obtener los datos necesarios.

6. Conclusiones

La aplicación de RNRP determinó tiempos de evacuación muy acertados a la realidad dando respuestas sobre el 80% de certeza con los tiempos calculados. Las condiciones de estas respuestas se determinaron con la ejecución de un ejercicio de evacuación previo al simulacro real y se siguió el Plan de Gestión de Riesgos de la Universidad Técnica de Ambato.

Del análisis estadístico se observa que los elementos más significativos en el tiempo de evacuación son: el conteo de personal evacuado, la desorganización y la falta de colaboración de las personas en el punto de encuentro, la falta de seriedad y agilidad al momento de realizar la evacuación tanto los brigadistas como el personal en general, la falta de actuación de personal de apoyo de cada facultas (punto focal), la no permanencia de los evacuados en el punto de encuentro en grupos junto con sus guías, profesores. Se determinó, además, que el tiempo de evacuación en la UTA se vio afectado por la organización después de la emergencia.

Este estudio buscó comprobar la cercanía de la estimación del RNRP a la realidad, para lo cual se estimó el tiempo de evacuación de las facultades de la Universidad Técnica de Ambato. Los tiempos de evacuación estimados en su mayoría (8 de 10) no variaron significativamente de los tiempos reales.

Los resultados obtenidos permitieron determinar que el algoritmo puede ser un enfoque razonable para predecir las respuestas humanas. Con la recopilación continua de datos podemos depurar las reglas de aprendizaje, siendo más específicos. Además, podríamos agregar otros parámetros, como la posición inicial de las personas al momento de escuchar la alerta, la relación social entre los ocupantes, etc.

Tanto para la determinación del tiempo de evacuación real y el estimado, se tomó en cuenta los mismos parámetros antes mencionados. A pesar de la variación que se aprecia, la estimación realizada por el RNRP fue muy cercana a la realidad, no solo por su proximidad numérica con los tiempos reales, sino también, por su leve desviación de

error entre los valores estimados. La variación de los tiempos reales, con relación a los estimados, no fue significativa, dándole valor a la propuesta.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Dirección de Investigación y Desarrollo por el financiamiento brindado para la publicación.

Referencias

Arribas, F. P., Piñeiro, A. L., Cosma, E. P., & Morillo, R. D. (2010). Simulación del movimiento de personas. Aplicación a la evacuación de buques. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 2(4), 78–88.

Bayram, V. (2016). Optimization models for large scale network evacuation planning and management: A literature review. *Surveys in Operations Research and Management Scienc*, 10.

Capote, J., Alvear, D., Abreu, O., Lázaro, M., & Cuesta, A. (2009). Modelado y simulación computacional de evacuación en edificios singulares. *Revista internacional de métodos numéricos*, 25(3), 227–245.

Alegre, A. (2003). Simulación de redes neuronales artificiales. Una aplicación didáctica. *Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura. Universidad Nacional del Nordeste*. Argentina

Fatmagul, B. (2012). An evacuation system for extraordinary in-door air pollution disaster circunstances. *Universidad Karabuk*. Turquía.

Gutiérrez-Estrada, J. C. (2004). Desarrollo y evaluación de modelos para la toma de decisiones: caracterización de la producción de anguilas (Anguilla anguilla L.) en sistemas intensivos. *Universidad de Córdova*. España.

Gwynne, S., Galea, E. R., Owen, M., Lawrence, P. J., & Filippidis, L. (1999). A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and Environment,* 34(6), 741-749. doi: 10.1016/S0360-1323(98)00057-2

Li, Q., Fang, Z., Li, Q., & Zong, X. (2010). Multiobjective evacuation route assignment model based on genetic algorithm. *18th International Conference on Geoinformatics*. Beijing, China:IEEE

Navia, N. A. H. (2008). Elaboración de un plan de emergencia y evacuación para el edificio de arquitectura ante un riesgo de incendio. *Universidad Austral de Chile*.

Owusu-Kwateng, K., Abdul Hamid, M., & Debrah, B. (2017). Disaster relief logistics operation: an insight from Ghana. *International Journal of Emergency Services*, 6(1), 4–13. doi: 10.1108/IJES-10-2016-0022

Pan, X., Han, C. S., Dauber, K., & Law, K. H. (2007). A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations. *Ai & Society*, 22(2), 113–132.

Pitarque, A., Ruiz, J. C., & Roy, J. F. (2000). Las redes neuronales como herramientas estadísticas no paramétricas de clasificación. *Psicothema*, 12(Su2), 459–463.

Rossetti, Q., & Sattar, T. (2011). Simulating large-scale evacuation scenarios in commercial shopping districts. Methodologies and case study, *US Department of Homeland Security*, 2010.

Sharma, S. (2009). Simulation and modeling of group behavior during emergency evacuation. *2009 IEEE Symposium on Intelligent Agents*. USA: IEEE.

Valencia Reyes, M. A. (2007). Algoritmo Backpropagation para redes neuronales: conceptos y aplicaciones. 125. *Centro de Investigación en Computación. Instituto Politécnico Nacional*. México.

Vilar, E., Noriega, P., Rebelo, F., Galrão, I., Semedo, D., & Graça, N. (2020). Exploratory study to investigate the influence of a third person on an individual emergency wayfinding decision. 955. *Advances in Intelligent Systems and Computing,* 452–461.

Villavicencio Rodríguez, F. D. (2013). Elaboración de un plan de emergencia contra incendios en las instalaciones del palacio del gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Pujilí. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Ecuador.

Wan, X., Wang, Y., Zhao, D., & Huang, Y. (2017). A comparison of two types of neural network for weld quality prediction in small scale resistance spot welding. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 93, 634–634.

You, L., Hu, J., Gu, M., Fan, W., & Zhang, H. (2016). The simulation and analysis of small group effect in crowd evacuation. *Physics Letters A*, 380(41), 3340–3348. doi: https://doi.org/10.1016/j.physleta.2016.08.012

Zhao, R., Liu, Q., Li, C., Dong, D., Hu, Q., & Ma, Y. (2019). Fuzzy neural network based scenario features extraction and mapping model for crowd evacuation stability analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1176, 032022.

Zheng, X., Zhong, T., & Liu, M. (2009). Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches. *Building and Environment*, 44(3), 437–445.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 22/06/2019
Aceitação/Acceptance: 15/09/2019

Arquitecturas de software para la eficiencia energética en edificaciones: una revisión sistemática

Luis Mendoza-Pittí[1], José Manuel Gómez-Pulido[1], Miguel Vargas-Lombardo[2]

l.mendoza@edu.uah.es, jose.gomez@uah.es, miguel.vargas@utp.ac.pa

[1] Departamento Ciencias de la Computación, Universidad de Alcalá, 28801, Madrid, España.

[2] E-health and Supercomputing Research Group (GISES), Universidad Tecnológica de Panamá, 0819-07289, Panamá City, Panamá.

Pages: 40–52

Resumen: Los edificios son uno de los principales contribuyentes al consumo de energía y los emisores de gases de efecto invernadero. Esta mejora en la eficiencia energética y la provisión de nuevos servicios debe ser sin duda respaldada por la aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) emergentes, junto con las nuevas redes de sensores. En este documento, se proporciona una descripción general de las arquitecturas de software y los enfoques de eficiencia energética en edificios. En este trabajo, presentamos los resultados de una revisión sistemática de la literatura científico-técnica que investiga los enfoques y estilos de arquitectura de software orientados a la eficiencia energética en edificios. El análisis realizado pretende ayudar a dirigir futuros desarrollos de arquitecturas de software capaces de procesar y analizar un escenario de Big Data y gestionar los diversos servicios destinados a la eficiencia energética en edificios.

Palabras-clave: Eficiencia energética en edificios; Consumo de energía en edificio; Edificio energéticamente eficiente; Arquitectura de software; Arquitectura orientada a servicios.

Software architectures for energy efficiency of buildings: a systematic review

Abstract: Buildings are one of the main contributors to energy consumption and emitters of greenhouse gases. This improvement in energy efficiency and the provision of new services must be unquestionably supported by the application of emerging Information and Communication Technologies (ICTs) together with new sensor networks. In this paper, an overview of software architectures and energy efficiency approaches in buildings is provided. In this work, we present the results of a systematic review of the scientific-technical literature that investigates the approaches and styles of software architecture aimed at energy efficiency in buildings. The analysis carried out aims to be of help to direct future developments of software architectures capable of processing and analyzing a Big Data scenario and managing the various services aimed at energy efficiency in buildings.

***Keywords**:* Building energy efficiency; Building energy consumption; Energy efficient building; Software architecture; Service-oriented architecture.

1. Introducción

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y científicos de reconocido prestigio en esta área, en la actualidad existe una mayor concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en comparación a la época preindustrial (Ntanos, Arabatzis, Konstantinos, Panagiota, & Chalikias, 2015). De hecho, unos de los principales sectores que contribuyen al aumento de GEI son los sectores energético y de construcción, ya que hacen uso de recursos muy contaminantes e impactan al medio ambiente (Greenpeace, n.d.; Severo & Sousa, 2016).

Por otra parte, el rápido crecimiento de las sociedades ha elevado enormemente el consumo energético, por lo que se ve reflejado en el aumento de la demanda de servicios en las ciudades como, por ejemplo, salud, energía, educación, edificios, etc. (Pérez-Lombard, Ortiz, & Pout, 2008). Asimismo, el sector de edificaciones es el responsable de un consumo de hasta un 40% de energía primaria a nivel mundial y de generar el 30 % de emisiones de CO2 (Pérez-Lombard et al., 2008; UNEP, 2009).

Algunos de los factores que afectan el consumo energético en las edificaciones son las condiciones climáticas de la región, los equipos instalados en el edificio, el comportamiento de los ocupantes, la envolvente térmica, etc. (Kwok & Lee, 2011; Yoshino, Hong, & Nord, 2017). Por esta razón, los edificios son protagonistas claves para la mejora en el ahorro energético (EU, 2011) asociado lógicamente al aumento de la eficiencia energético en las edificaciones y a la reducción de las emisiones de GEI (ürge-Vorsatz, Harvey, Mirasgedis, & Levine, 2007).

A modo de ejemplo, el Banco Mundial en un reciente informe (BM, 2019b), afirma que el consumo de energía eléctrica en Panamá es mayor con respecto a otros países de la región que presentan una mayor población. Inclusive, las emisiones de CO2 en el país ha presentado un aumento en los últimos años, según la misma fuente (BM, 2019a).

Por las razones enunciadas anteriormente, Panamá como otros tantos países en circunstancias análogas, presentan grandes desafíos por solventar tanto para el sector energético en general como en el de la edificación en particular. En este sentido, Panamá desarrolló un plan con miras a la sostenibilidad del país, a través de la regulación del sector de la construcción (Sec. Nacional de Energía, 2016), con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos reduciendo simultáneamente el alto consumo energético y las emisiones de GEI en el país.

En la consecución de edificios energéticamente eficientes, las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) están llamadas a ejercer un papel relevante. Para ello, es imprescindible el desarrollo de nuevas y avanzadas arquitecturas de software capaces de gestionar, procesar, analizar, y monitorizar grandes conjuntos de datos, ofreciendo información de gran valor añadido que apoye a una correcta toma de decisiones que, además, en muchos escenarios deberá ser en tiempo cuasi-real.

En el sentido de lo antes expuesto, este trabajo tiene como objetivo proporcionar una sólida base para la comprensión de los diferentes enfoques y estilos de arquitecturas

de software empleadas para la gestión eficiente de edificios. Para alcanzar el objetivo deseado, se ha realizado una revisión sistemática de la literatura científico-técnica presente en este contexto.

El artículo se estructura de la siguiente forma. En la Sección 2, se presentan los conceptos relativos a la arquitectura de software y a la metodología empleada. En la Sección 3, se desarrolla la metodología que se propone. En la Sección 4, se realiza el análisis y la discusión sobre la revisión sistemáticas de los trabajos científicos recopilados, y, por último, en la Sección 5, se presentan las conclusiones obtenidas.

2. Conceptos

En esta sección describiremos algunos conceptos básicos para mayor entendimiento del estudio como son las definiciones y los estilos de las arquitecturas de software, así como la descripción del enfoque metodológico empleado.

2.1. Arquitecturas de Software

La norma ISO/IEC/IEEE 42010 (International Organization for Standardization, 2011) define arquitectura de software (AS) como: "conceptos fundamentales o propiedades de un sistema en su entorno, materializados en sus elementos, relaciones y en los principios de su diseño y evolución". Por tanto, para la implementación de una AS, es necesario definir las relaciones de los diferentes componentes en base a una serie de factores que satisfagan tanto los requisitos técnicos (funcionales y no funcionales) como operacionales, además de considerar las características comunes a optimizar para ofrecer una arquitectura de alta calidad (Microsoft Developer Network, n.d.).

De hecho, implementar una correcta AS ofrece algunos beneficios descritos en (Sharma, Kumar, & Agarwal, 2015) :

- Describe cómo será el comportamiento del sistema antes de su implementación real.
- Ayuda a estimar los requerimientos de la solución.
- Permite descubrir las áreas vulnerables del sistema, reduciendo así el impacto y costo asociado.
- Favorece la reutilización de componentes en los sistemas.
- Permite desarrollar sistemas con atributos de calidad, como "mantenibilidad", "confiabilidad", "eficiencia", "usabilidad", entre otros.

Por otra parte, existen diferentes estilos que permiten organizar los diferentes componentes de las AS (Jaakkola & Thalheim, 2009). Seleccionar uno de ellos depende de las necesidades y las características de calidad que requiere el cliente dado que una mala selección implica altos costos tanto a nivel de diseño como de implementación. A modo de ejemplo, el trabajo de Jaakkola & Thalheim (2009) aborda la descripción de diferentes estilos de AS.

2.2. Metodología empleada

El enfoque metodológico adoptado en este estudio está basado en el propuesto por (Kitchenham, 2004). Este enfoque describe las directrices para la revisión sistemática

de la literatura en el ámbito de ingeniería de software, las cuales en este trabajo se han adaptado y desarrollado en las siguientes fases: (1) Planificación; (2) Desarrollo y (3) Presentación de resultados. En la primera fase de Planificación, se determina el protocolo de revisión conformado por la pregunta de investigación, la estrategia de búsqueda, los criterios de selección de estudios, el procedimiento de búsqueda y la extracción de datos. En la segunda fase de Desarrollo, se expone el protocolo propuesto, donde se identifica y seleccionan los estudios primarios, en base a los criterios de selección. Finalmente, en la tercera fase de presentación de resultados, se presentan los principales hallazgos tras analizar los indicados estudios primarios.

3. Desarrollo de la metodología

3.1. Planificación

3.1.1. Pregunta de Investigación

La pregunta clave de investigación en este estudio es: ¿Qué enfoques de arquitecturas de software se han desarrollado para su aplicación en problemas de eficiencia energética en edificaciones?

3.1.2. Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda y recopilación de los artículos relevantes, seleccionamos las siguientes bases de datos científicas (BDC): Scopus, Google Scholar, Web of Science, Science Direct, IEEE Xplore, SpringerLink, ACM Digital Lib. En cada una de estas BDC empleamos una cadena de búsqueda con los conectores AND y OR en base a las siguientes palabras claves:

("Building energy efficiency" OR "Building energy consumption" OR "Energy efficient building") AND ("software architecture" OR "service-oriented architecture" OR "SOA").

3.1.3. Criterios de selección

Con el objeto de identificar aquellos artículos relevantes para nuestra investigación, señalamos los siguientes criterios de exclusión:

1. Se han considerado en la búsqueda artículos que expongan avances tecnológicos recientes por lo que se han excluido aquellos que tengan más de 5 años de antigüedad (publicados desde 2013 o antes).
2. Se han excluido los artículos no relacionados a nuestro contexto de la investigación tanto de la eficiencia energética como de las áreas de las TIC.
3. Se han excluido aquellos artículos que no presenten información de las palabras claves o de la pregunta de investigación antes enunciada.
4. Se han excluido los artículos que no presenten arquitecturas, modelos, frameworks o propuestas para la eficiencia energética en edificaciones.

3.1.4. Procedimiento de búsqueda

Para la selección de nuestros estudios, realizamos el siguiente procedimiento:

1. Ejecutamos la cadena de búsqueda en las diferentes bases de datos seleccionadas.
2. Realizamos un pre-filtrado de los títulos y resúmenes de los artículos, aplicando los criterios de selección.
3. Realizamos una revisión completa de cada artículo pre-seleccionado, tomando en cuenta los criterios de selección, para obtener los artículos más relevantes.
4. Realizamos una revisión de las referencias de los artículos relevantes seleccionados, para incluir aquellos artículos que brinden información importante para nuestra investigación y que estos no se encontraron entre los años 2014-2019.

3.1.5. Extracción de datos

Después de recopilar todos los artículos más relevantes, el siguiente paso ha sido la extracción de datos. Extrayendo para cada uno de estos artículos la siguiente información:

- ¿El artículo presenta conceptos o definiciones de las palabras claves definidas?
- ¿El artículo presenta diseños, propuestas, modelos, frameworks, plataformas o arquitecturas de software dirigidas a la eficiencia energética en edificaciones?
- ¿El artículo presenta enfoques y aplicaciones utilizadas para la eficiencia energética en edificaciones?
- ¿Qué estilo de arquitectura de software presenta el artículo?

3.2. Desarrollo

Para realizar el procedimiento de búsqueda empleamos dos fases.

- *Primera fase:* Aplicamos los criterios de exclusión, tanto para el título y resumen de los artículos, como para la revisión del texto completo, con el objeto de recopilar los artículos relevantes de cada base de datos científica, obteniendo un total de 28 artículos relevantes (véase Tabla 1).

Bases de Datos Científicas	**n**	**Título y Resumen**				**1er Filtro**	**Revisión de Texto Completo**			**Artículos Relevantes**
		E1	**E2**	**E3**	**E4**		**E2**	**E3**	**E4**	
Google Scholar	**836**	487	403	40	6	**38**	16	11	6	**5**
Scopus	**177**	141	98	20	5	**18**	11	3	0	**4**
Web of Science	**1**	0	0	0	0	**0**	0	0	0	**0**
ScienceDirect	**112**	86	38	15	3	**30**	2	14	4	**10**
SpringerLink	**60**	43	15	10	7	**11**	2	5	2	**2**
IEEE	**60**	35	25	2	2	**6**	1	0	0	**5**
ACM	**670**	182	113	58	0	**11**	2	6	1	**2**
TOTAL	**1916**	**974**	**692**	**145**	**23**	**114**	**34**	**39**	**13**	**28**

Tabla 1 – Cantidad de artículos encontrados en las BDC tras aplicar los criterios de exclusión.

Segunda fase: Realizamos una revisión de las referencias más importantes de los artículos seleccionados en la fase anterior, logrando recolectar 7 artículos de estas referencias. En consecuencia, obtuvimos un total de 35 artículos finales que nos permitirán responder a nuestra pregunta de investigación. En la Figura 1, se resume el procedimiento de revisión sistemática científico-técnica, detallando cada fase aplicada.

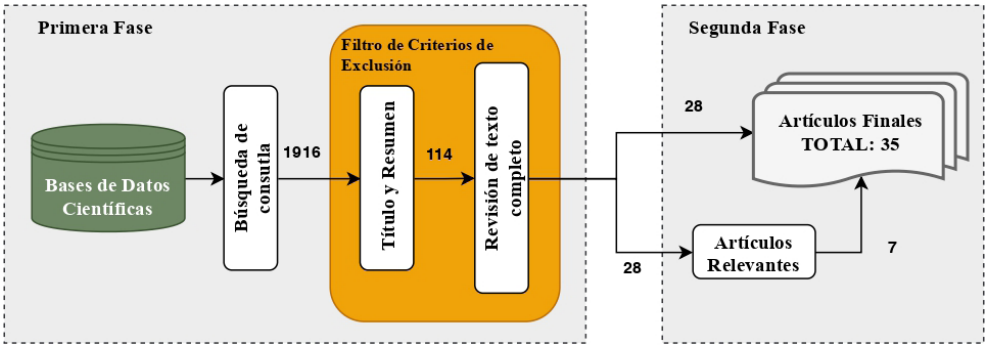


Figura 1 – Resumen del proceso de la revisión sistemática científico-técnica

3.3. Presentación de resultados

Con la finalidad de responder a la pregunta de investigación, en esta fase presentamos los principales hallazgos después de realizar la revisión sistemática de la literatura y análisis de los artículos finales recopilados.

¿Qué enfoques de arquitecturas de software se han desarrollado en cuanto a la eficiencia energética en edificaciones?

La metodología empleada nos permitió encontrar 35 artículos en los que se describen los distintos enfoques para la eficiencia energética en edificaciones. Para ello, realizamos previamente un breve análisis de estos artículos, donde se destacan los siguientes enfoques: *(i) frameworks,* los estudios se enfocan en resolver una problemática común o desempeñan el seguimiento de buenas prácticas para las AS; *(ii) arquitecturas,* los trabajos plantean un paradigma abstracto de la AS; *(iii) plataformas*, los artículos analizan la AS en plataformas ya establecidas; *(iv) modelos*, los estudios representan solo abstracciones de ciertos componentes de la AS; *(v) propuestas*, los trabajos solo plantean o desarrollan el concepto. En la Tabla 2, se referencian cada uno de los artículos recopilados de acuerdo con su enfoque.

En base a los resultados anteriores, se han identificado diversas aplicaciones empleadas para la eficiencia energética en edificaciones. La Figura 2 muestra la distribución de las aplicaciones citadas en la literatura para cada enfoque presentado, donde destaca Smart City con un mayor número de artículos, seguido de los edificios inteligentes, administración energética y eficiencia energética en edificios, entre otros.

Enfoque	Referencias	Cantidad
Arquitecturas	(Babar & Arif, 2017; Cheng, Longo, Cirillo, Bauer, & Kovacs, 2015; Chilipirea, Petre, Groza, Dobre, & Pop, 2017; Daki, El Hannani, & Ouahmane, 2018; Elhoseny, Elhoseny, Abdelrazek, Bakry, & Riad, 2016; H. Ufuk Gökçe & Gökçe, 2014; Hasan Ufuk Gökçe & Gökçe, 2013; He, Wang, Huang, & Liu, 2018; Linder, Vionnet, Bacher, & Hennebert, 2017; Marinakis et al., 2018; Martin, Hernandez, & Valmaseda, 2015; Mohamed, Al-Jaroodi, & Jawhar, 2018; Mohamed, Al-Jaroodi, & Lazarova-Molnar, 2018; Sembroiz, Ricciardi, & Careglio, 2018; Simmhan, Ravindra, Chaturvedi, Hegde, & Ballamajalu, 2018; Ufuk Gökçe & Umut Gökçe, 2014; Vatanparvar & Al Faruque, 2018)	18
Framework	(Chou, Ngo, Chong, & Gibson, 2016; Fiware, n.d.; Kallab, Chbeir, Bourreau, Brassier, & Mrissa, 2017; Lazarova-Molnar & Mohamed, 2017; Shahat Osman, 2019; Zhang, Ma, Yang, Lv, & Liu, 2018; Zhao, Nagy, Thomas, & Schlueter, 2015)	7
Modelos	(E. Gomes et al., 2016; E. H. A. Gomes & Dantas, 2018; Khajenasiri, Estebsari, Verhelst, & Gielen, 2017; Zhou, Fu, & Yang, 2016)	4
Plataformas	(Al Faruque & Vatanparvar, 2016; Guo, Yang, Feng, & Hu, 2018; Mohamed, Al-Jaroodi, Jawhar, Lazarova-Molnar, & Mahmoud, 2017; Petri et al., 2015)	4
Propuestas	(Malik et al., 2017; Santana, Chaves, Gerosa, Kon, & Milojicic, 2017)	2

Tabla 2 – Artículos encontrados en las BDC de acuerdo con el enfoque utilizado.

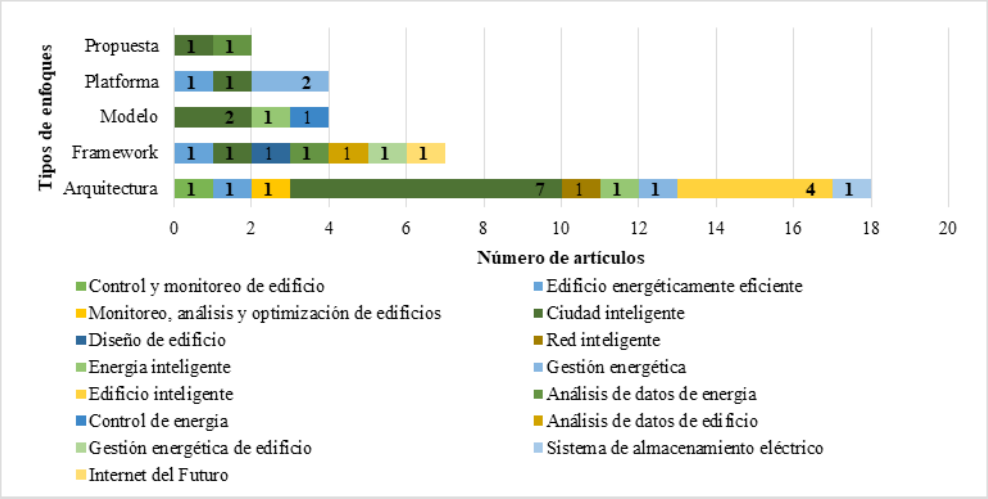


Figura 2 – Aplicaciones descritas en los tipos de enfoques citados

Basándonos en el análisis previo, se han identificado 33 artículos donde se especifica el estilo de AS planteado. En la Figura 3 se aprecia la distribución de los estilos de arquitectura que se han identificado en los artículos citados, donde el estilo de arquitectura basado

en capas cuenta con un mayor número de artículos, seguido de la arquitectura para Big Data, Cloud Computing y la arquitectura orientada a servicios (SOA).

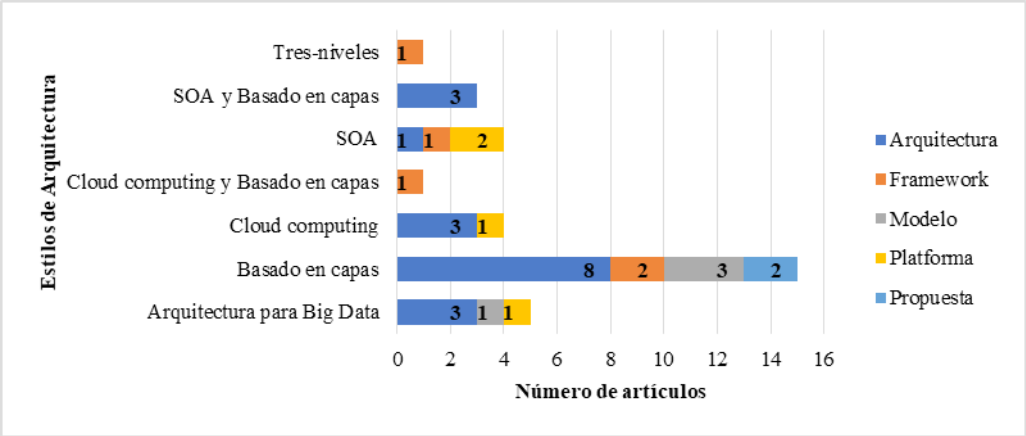


Figura 3 – Estilos de arquitectura de software encontrados en los enfoques citados

4. Análisis y discusión

Los resultados de este estudio muestran la existencia de una diversidad de enfoques empleados para la eficiencia energética en edificaciones, donde el mayormente citado es el enfoque de arquitectura. Asimismo, se han desarrollado múltiples aplicaciones alrededor de estos enfoques como los referidos a Ciudad Inteligente, Ciudad Inteligente, Energía Inteligente, Edificio energéticamente eficiente, etc.

Por otra parte, detectamos un sinnúmero de estilos utilizados en los artículos citados. Donde el estilo de AS basado en capas es el mayormente utilizado, ya que tiene la característica de desacoplar los componentes tecnológicos, con la finalidad de distribuir la carga del software de forma jerárquica (Sharma et al., 2015). Este estilo, presenta algunos beneficios tales como, abstracción, aislamiento, independencia, rendimiento, etc. (Pérez, n.d.).

Además, el estilo SOA, es otro de los más citados dentro del presente estudio, incluso es utilizado en combinación con otros estilos como el mencionado anteriormente. Este estilo permite separar los servicios de la ejecución, a través de interfaces abstractas (Duan, 2017). Es decir, permite la reutilización de servicios.

Por otro lado, el estilo de Arquitectura para Big Data es bastante referenciado en nuestra investigación, ya que favorece el uso de las diversas tecnologías de Big Data para analizar los grandes conjuntos de datos generados por diferentes sensores presentes en las edificaciones (Guo et al., 2018; Zhou et al., 2016). De igual manera, el estilo de Cloud Computing cuenta con suficientes trabajos citados. El cual posibilita la gestión de los diferentes procesos o servicios que son útiles para la sostenibilidad de los edificios (Mohamed, Al-Jaroodi, & Lazarova-Molnar, 2018; Sembroiz et al., 2018).

5. Conclusiones

Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura científico-técnica, de acuerdo al protocolo definido por (Kitchenham, 2004), sobre enfoques y estilos de arquitectura de software dirigidos a la eficiencia energética en edificaciones, donde exponemos una perspectiva general de los estudios en este ámbito, permitiendo así formular nuevas investigaciones.

Uno de los hallazgos más interesantes encontrados en este estudio ha sido la diversidad de estilos de arquitectura de software empleadas a la eficiencia energética en edificaciones, destacando el estilo de arquitectura de software basado en capas.

Finalmente, este estudio nos permite sentar las bases para la incorporación tanto de las técnicas de Big Data como de arquitecturas de software orientada a servicios capaces de procesar, analizar y gestionar las diversas aplicaciones que contribuyen significativamente a la mejora de los procesos involucrados en la eficiencia energética de las edificaciones.

Agradecimientos

A la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT, Panamá) y al Instituto para la Formación y Aprovechamiento de Recursos Humanos (IFARHU), por la beca de estudio doctoral otorgada dentro del programa de becas doctorales IFARHU-SENACYT, 2018. Como también al Sistema Nacional de Investigación SNI-SENACYT del cual, uno de los autores es miembro y al proyecto Herramienta Inteligente para el Diseño de Proyectos Residenciales y Edificaciones Energéticamente Sostenible, FONDO I+D+I SENACYT,2018.

Contribución de los Autores

Conceptualización, L.M J.G., MV.; metodología, L.M, J.G., M:V.; análisis formal, L.M., J.G. y M.V.; investigación, L.M., J.G., M.V.; escritura—original L.M, J.G.,M.V.; escritura—revisión y edición, L.M, J.G.,M.V.; autor de correspondencia MV.

Referencias

Al Faruque, M. A., & Vatanparvar, K. (2016). Energy Management-as-a-Service Over Fog Computing Platform. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(2), 161–169.

Babar, M., & Arif, F. (2017). Smart urban planning using Big Data analytics to contend with the interoperability in Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 77, 65–76. https://doi.org/10.1016/j.future.2017.07.029

BM. (2019a). *CO2 emissions (metric tons per capita)* [Internet]. Retrieved from https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC?contextual=default&end=2014&locations=PA&start=1960&view=chart

BM. (2019b). *Electric power consumption (kWh per capita)* [Internet]. Retrieved from https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?contextual=region&end=2014&locations=PA&start=2014&view=bar

Cheng, B., Longo, S., Cirillo, F., Bauer, M., & Kovacs, E. (2015). Building a Big Data Platform for Smart Cities: Experience and Lessons from Santander. In *2015 IEEE International Congress on Big Data*, 592–599.

Chilipirea, C., Petre, A.-C., Groza, L.-M., Dobre, C., & Pop, F. (2017). An integrated architecture for future studies in data processing for smart cities. *Microprocessors and Microsystems*, 52, 335–342.

Chou, J.-S., Ngo, N.-T., Chong, W. K., & Gibson, G. E. (2016). Big data analytics and cloud computing for sustainable building energy efficiency. *Start-Up Creation*, 397–412. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100546-0.00016-9

Daki, H., El Hannani, A., & Ouahmane, H. (2018). HBase-based storage system for electrical consumption forecasting in a Moroccan engineering school. In *4th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICOA.2018.8370520

Duan, Q. (2017). Cloud service performance evaluation: Status, challenges, and opportunities – a survey from the system modeling perspective. *Digital Communications and Networks*, 3(2), 101–111.

Elhoseny, H., Elhoseny, M., Abdelrazek, S., Bakry, H., & Riad, A. (2016). Utilizing service oriented architecture (SOA) in smart cities. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 9.

EU. (2011). *Energy efficiency plan* [Internet]. Retrieved from https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/2050/docs/efficiency_plan_en.pdf

Fiware, F. (n.d.). *What is Fiware?* [Internet] Retrieved from https://www.fiware.org/developers/

Gökçe, H. Ufuk, & Gökçe, K. U. (2014). Multi dimensional energy monitoring, analysis and optimization system for energy efficient building operations. *Sustainable Cities and Society*, 10, 161–173. https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.08.004

Gökçe, Hasan Ufuk, & Gökçe, K. U. (2013). Holistic system architecture for energy efficient building operation. *Sustainable Cities and Society*, 6, 77–84.

Gomes, E., Dantas, M. A. R., de Macedo, D. D. J., De Rolt, C., Brocardo, M. L., & Foschini, L. (2016). Towards an infrastructure to support big data for a smart city project. In *IEEE 25th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, 107–112.

Gomes, E. H. A., & Dantas, M. A. R. (2018). An infrastructure model for smart cities based on big data. *International Journal of Grid and Utility Computing*, 9(4), doi: 10.1504/IJGUC.2018.095435.

Greenpeace. (n.d.). *Cambio climático* [Internet]. Retrieved from: https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/

Guo, Y., Yang, Z., Feng, S., & Hu, J. (2018). Complex power system status monitoring and evaluation using big data platform and machine learning algorithms: a review and a case study. *Complexity*, 1–21.

He, X., Wang, K., Huang, H., & Liu, B. (2018). QoE-driven big data architecture for smart city. *IEEE Communications Magazine*, 56(2), 88–93.

International Organization for Standardization. (2011). ISO/IEC/IEEE 42010—Systems and software engineering - Architecture description [Internet]. Retrieved from http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/05/05/50508.html

Jaakkola, H., & Thalheim, B. (2009). Architecture-Driven Modelling Methodologies. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 225, 97-116.

Kallab, L., Chbeir, R., Bourreau, P., Brassier, P., & Mrissa, M. (2017). HIT2GAP: Towards a better building energy management. *Energy Procedia*, 122, 895–900. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.399

Khajenasiri, I., Estebsari, A., Verhelst, M., & Gielen, G. (2017). A review on internet of things solutions for intelligent energy control in buildings for smart city applications. *Energy Procedia*, 111, 770–779. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.239

Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews*. Keele, UK, Keele Univ., 33.

Kwok, S. S. K., & Lee, E. W. M. (2011). A study of the importance of occupancy to building cooling load in prediction by intelligent approach. *Energy Conversion and Management*, 52(7), 2555–2564. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.02.002

Lazarova-Molnar, S., & Mohamed, N. (2017). Collaborative data analytics for smart buildings: Opportunities and models. *Cluster Computing*. https://doi.org/10.1007/s10586-017-1362-x

Linder, L., Vionnet, D., Bacher, J.-P., & Hennebert, J. (2017). Big building data—a big data platform for smart buildings. *Energy Procedia*, 122, 589–594. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.354

Malik, M., Tabone, M., Chassin, D. P., Kara, E. C., Guha, R. V., & Kiliccote, S. (2017). A common data architecture for energy data analytics. In *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 417–422. https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2017.8340736

Marinakis, V., Doukas, H., Tsapelas, J., Mouzakitis, S., Sicilia, Á., Madrazo, L., & Sgouridis, S. (2018). From big data to smart energy services: an application for intelligent energy management. *Future Generation Computer Systems*. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.062

Martin, S., Hernandez, J., & Valmaseda, C. (2015). A novel middleware for smart grid data exchange towards the energy efficiency in buildings. In *International Conference and Workshops on Networked Systems (NetSys)*, 1–8. https://doi.org/10.1109/NetSys.2015.7089063

Microsoft Developer Network. (n.d.). *¿Qué es la arquitectura de software?* [Internet] Retrieved from https://msdn.microsoft.com/es-es/hh144976.aspx

Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., & Jawhar, I. (2018). Service-oriented big data analytics for improving buildings energy management in smart cities. In *14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 1243–1248. https://doi.org/10.1109/IWCMC.2018.8450469

Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Jawhar, I., Lazarova-Molnar, S., & Mahmoud, S. (2017). SmartCityWare: a service-oriented middleware for cloud and fog enabled smart city services. *IEEE Access*, 5, 17576–17588. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2731382

Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., & Lazarova-Molnar, S. (2018). Energy cloud: services for smart buildings. In W. Rivera (Ed.), *Sustainable Cloud and Energy Services*, 117–134. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62238-5_5

Ntanos, S., Arabatzis, G., Konstantinos, M., Panagiota, L., & Chalikias, M. (2015). Energy consumption and CO2 emissions on a global level. In *International Conference on Quantitative and Qualitative Methodologies in the Economic and Administrative Sciences*. Atenas.

Pérez, J. (n.d.). *Arquitectura basada en capas* [Internet]. Retrieved from https://geeks.ms/jkpelaez/2009/05/30/arquitectura-basada-en-capas/

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398.

Petri, I., Rezgui, Y., Beach, T., Li, H., Arnesano, M., & Revel, G. M. (2015). A semantic service-oriented platform for energy efficient buildings. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(3), 721–734.

Santana, E. F., Chaves, A. P., Gerosa, M. A., Kon, F., & Milojicic, D. S. (2017). Software platforms for smart cities: concepts, requirements, challenges, and a unified reference architecture. *ACM Computing Surveys*, 50(6), 1–37.

Sec. Nacional de Energía. (2016). Plan Energético Nacional 2015-2050 [Internet]. Retrieved from http://www.energia.gob.pa/energia/wp-content/uploads/sites/2/2017/06/Plan-Energetico-Nacional-2015-2050-1.pdf

Sembroiz, D., Ricciardi, S., & Careglio, D. (2018). A novel cloud-based IoT architecture for smart building automation. *Security and Resilience in Intelligent Data-Centric Systems and Communication Networks* (pp. 215–233). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811373-8.00010-0

Severo, E. M. F., & Sousa, H. J. C. (2016). Avaliando a sustentabilidade das edificações através de ferramentas qualitativas e quantitativas. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (19), 01–14.

Shahat Osman, A. M. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633.

Sharma, A., Kumar, M., & Agarwal, S. (2015). A complete survey on software architectural styles and patterns. *Procedia Computer Science*, 70, 16–28.

Simmhan, Y., Ravindra, P., Chaturvedi, S., Hegde, M., & Ballamajalu, R. (2018). Towards a data-driven IoT software architecture for smart city utilities. ArXiv:1803.02500 [Cs]. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1803.02500

Ufuk Gökçe, H., & Umut Gökçe, K. (2014). Integrated system platform for energy efficient building operations. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(6), 05014005. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000288

UNEP, S. (2009). Common carbon metric for measuring energy use and reporting greenhouse gas emissions from building operations [Internet]. Retrieved from https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7922

ürge-Vorsatz, D., Harvey, L. D. D., Mirasgedis, S., & Levine, M. D. (2007). Mitigating CO2 emissions from energy use in the world's buildings. *Building Research & Information*, 35(4), 379–398. https://doi.org/10.1080/09613210701325883

Vatanparvar, K., & Al Faruque, M. A. (2018). Control-as-a-Service in cyber-physical energy systems over fog computing. In A. M. Rahmani, P. Liljeberg, J.-S. Preden, & A. Jantsch (Eds.). *Fog Computing in the Internet of Things* (pp. 123–144). https://doi.org/10.1007/978-3-319-57639-8_7

Yoshino, H., Hong, T., & Nord, N. (2017). IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—analysis and evaluation methods. *Energy and Buildings*, 152, 124–136. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.038

Zhang, Y., Ma, S., Yang, H., Lv, J., & Liu, Y. (2018). A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries. *Journal of Cleaner Production*, 197, 57–72. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.170

Zhao, H., Nagy, Z., Thomas, D., & Schlueter, A. (2015). Service-oriented architecture for data exchange between a building information model and a building energy model. In *Proceedings of International Conference CISBAT 2015, (pp. 761-766)*. Lausanne: LESO-PB, EPFL

Zhou, K., Fu, C., & Yang, S. (2016). Big data driven smart energy management: from big data to big insights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 215–225. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.050

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 12/05/2019
Aceitação/Acceptance: 20/07/2019

Validación de un modelo de medición para la gestión de la calidad del servicio en el ámbito de la auditoría de Tecnologías de la Información

Carlos Zumba Vásquez[1], Diana García Peláez[1], Francisco Bolaños Burgos[1]

czumba@uees.edu.ec, dgarciap@uees.edu.ec, fcobolanos@uees.edu.ec

[1] Universidad Espíritu Santo, Facultad de Postgrado, Maestría en Auditoría de Tecnologías de la Información, Km. 2,5 vía La Puntilla - Samborondón, Samborondón, Ecuador.

Pages: 53–66

Resumen: El objetivo de la investigación es la validación de un instrumento para la gestión de la calidad del servicio en el departamento de TI. Metodológicamente, se describe la construcción de una rúbrica de 73 ítems basado en las normas y estándares para la GSTI. La validez de contenido se centró en la evaluación de juicio de expertos. Posteriormente fue aplicado en una empresa privada relacionada a la prestación de servicios telefónicos y telemarketing. El análisis fue basado en la Teoría de la Generalizabilidad para confirmar la validez y fiabilidad del diseño de la rúbrica y con la finalidad de generalizar los resultados. Los resultados evidencian que el instrumento es fiable debido a que en los procesos el coeficiente G fue 0, verificándose la validez del instrumento propuesto en el ámbito de la auditoría de TI; por otro lado, demuestra que esta teoría disminuye el sesgo entre los auditores.

Palabras-clave: Calidad del Servicio; GSTI; Marco de Auditoría de TI; Instrumento de Auditoría; Análisis de Generalizabilidad.

Validation of a measurement model for the management of the quality of the service in the scope of the audit of Information Technologies

Abstract: The objective of the research is the validation of an instrument for the management of the quality of the service in the IT department. Methodologically, the construction of a 73 items rubric based on the standards and standards for the GSTI is described. The content validity focused on the evaluation of expert judgment. Later it was applied in a private company related to the provision of telephone services and telemarketing. The analysis was based on the Theory of Generalizability to confirm the validity and reliability of the design of the rubric and in order to generalize the results. The results show that the instrument is reliable because in the processes the coefficient G was 0, verifying the validity of the proposed instrument in the scope of the IT audit; On the other hand, it shows that this theory reduces the bias among auditors.

Keywords*:* Quality of Service; ITSM; IT Audit Framework; Audit Instrument; Generalizability Analysis.

1. Introducción

Dentro de las organizaciones se describen actividades internas y externas como parte del proceso de entrega de un servicio. En este sentido, se adoptan buenas prácticas que permitan garantizar la calidad de los servicios a través de procesos que faciliten la gestión (Bayona, Baca, & Vela, 2017). Por otro lado, Gil-Gómez, Oltra-Badenes, & Adarme-Jaimes, (2014) aseguran que la satisfacción de los clientes radica en la necesidad de gestionar los servicios requeridos en los procesos empresariales, siendo un factor imperativo el desempeño de los servicios de TI y su gran impacto en las operaciones y la calidad del servicio (Baños, Melendez, & Dávila, 2016).

En la literatura sobre la calidad del servicio, se han realizado investigaciones orientadas hacia la evaluación de modelos para la calidad de los servicios con un enfoque hacia la perspectiva y satisfacción del cliente (Seth, Deshmukh, & Vrat, 2005; Iden & Eikebrokk, 2013; Duque, Cervera y Rodríguez, 2006; Melendez, Dávila, & Pessoa, 2016). En donde, se describen dos modelos de evaluación para la calidad del servicio: la Escuela Nórdica de Grönroos (1988, 1994), modelo relacionado a la calidad de imagen corporativa y la Escuela Estadounidense de Parasuraman, Zeithaml, & Berry (1985, 1988) denominada SERVQUAL, siendo el modelo más utilizado por los académicos (Duque, 2005).

El modelo SERVQUAL, fue diseñado con la finalidad de medir la calidad del servicio a través de la relación entre las percepciones de los clientes sobre la calidad del servicio (Parasuraman et al., 1988). Posteriormente fue utilizado por Pitt, Berthon, & Lane (1998) en estudios entorno al departamento de Sistemas de Información (SI). Como resultado, el interés desde esta perspectiva se amplió en estudios llevados a cabo por Hochstein, Tamm, & Brenner (2005); Praeg & Schnabel (2006), Lee, Zhao, & Lee (2019), entre otros.

En el contexto de TI, Jia & Reich (2016) definen la calidad de servicio como el grado en que el área de TI proporciona servicio a los clientes cumpliendo con sus expectativas. Ministr (2013) sostiene que la calidad del servicio depende también de la gestión exitosa de los procesos de TI como apoyo a los servicios de TI, por lo que requieren de un enfoque metodológico y herramientas adecuadas.

En el campo de la auditoría de TI, distintas firmas auditoras de control como SAS 70, asimilan los principios de la calidad del servicio de marketing (SERVQUAL) en el proceso de auditoría de TI. Así mismo, ISACA destaca este proceso de auditoría de SAS señalando a la escala SERVQUAL como una herramienta confiable y válida para medir la calidad del servicio dentro de la GSTI (Bell III & Smith, 2011); sin embargo, se enfoca en la satisfacción de las necesidades del cliente y no la concordancia de sus resultados.

Frente a las rúbricas, en la literatura de educación se consideran estudios sobre este tema, dado que permiten medir el nivel de la calidad del trabajo o servicio a través de criterios de autoevaluación con una breve explicación para cada categoría (Reddy & Andrade, 2010; Panadero & Jonsson, 2013). A través de la calificación de las dimensiones de las categorías se calcula la validez de lo que se espera medir y la fiabilidad que es la consistencia en las puntuaciones (Moskal & Leydens, 2000); logrando ser adaptables de forma específica o general según la necesidad para determinar la calidad y el éxito de lo evaluado (Dickinson & Adams, 2017).

Con respecto a la fiabilidad, Cobo-Merino, Batanero-Bernabeu, & Díaz Batanero (2003) indican que un instrumento de medida se considera fiable si las medidas obtenidas a partir de él no contienen errores o estos son lo suficiente pequeños. De igual forma, Blanco (1989) describe que el instrumento demuestra estabilidad, consistencia y dependencia en las puntuaciones individuales si se administra en repetidas ocasiones a un mismo grupo de evaluadores.

Por otra parte, para medir la confiabilidad de la rúbrica la Teoría de la Generalizabilidad (Teoría G) unifica las definiciones de fiabilidad, validez y precisión (Blanco Villaseñor, Castellano Paulis, Hernández Mendo, Sánchez López, & Usabiaga, 2014); más aún si se considera un modelo de estimación apropiado en función del tipo de muestra y de los diferentes niveles de las facetas de estudio (Larraz, Allueva, & Blanco-Villaseñor, 2014), siendo importante para evaluar y mejorar las propiedades de los puntajes (Vispoel, Morris, & Kilinc, 2018).

Este trabajo analiza los diferentes marcos de referencia para la GSTI, con la finalidad de establecer las dimensiones que forman parte del instrumento propuesto, y se aplica la validez del constructo a través del juicio de expertos. Esta investigación es pertinente en la medida en que los resultados obtenidos a partir de la aplicación del instrumento sean generalizables durante el proceso y sus participantes. Teniendo en consideración la crítica que reciben los instrumentos que miden la calidad del servicio de que no han sido validados salvo excepciones (Duque Oliva, Javier, & Baquero, 2014); este estudio cubre esa brecha y provee una herramienta validada, fiable y consistente para el proceso de auditoría de TI.

Por lo tanto, es importante abordar este tema desde un nuevo enfoque, por lo que este trabajo tiene como objetivo general la validación de un modelo de instrumento (rúbrica) para la gestión de la calidad del servicio, con el propósito de establecer una herramienta para el auditor de TI durante el proceso de auditoría, enfocado y dirigido a los departamentos de TI de una empresa privada relacionada a la prestación de servicios telefónicos y telemarketing.

2. Metodología

El propósito de la presente investigación de carácter cuantitativa es la construcción, validación y generalización del instrumento para auditoría que se utilizará para medir la calidad del servicio desde la perspectiva del área de TI. Como punto de partida para determinar las dimensiones del instrumento, se establece el proceso de selección de normas y mejores prácticas para la GSTI, considerando como primer factor ITIL hacia COBIT e ISO y en función de los siguientes procesos: Transición del servicio (TS) - Gestión del Cambio (GC), Gestión de lanzamiento y despliegue (GL); y Operación del servicio (OS) - Gestión de Incidentes (GI), Gestión de Problemas (GP) y Mesa de Servicio (MS).

Por lo cual, se lleva a cabo una revisión de las normas antes descritas y el soporte necesario a través de la revisión exhaustiva de la documentación oficial de cada norma y estándar. Este proceso se basó en la metodología de Zumba-Vásquez, García-Peláez, & Bolaños-Burgos (2018), realizando un análisis descriptivo representado en la Figura 1,

determinándose aspectos relevantes que definen la convergencia, compatibilidad y una combinación eficaz de las normas y estándares.

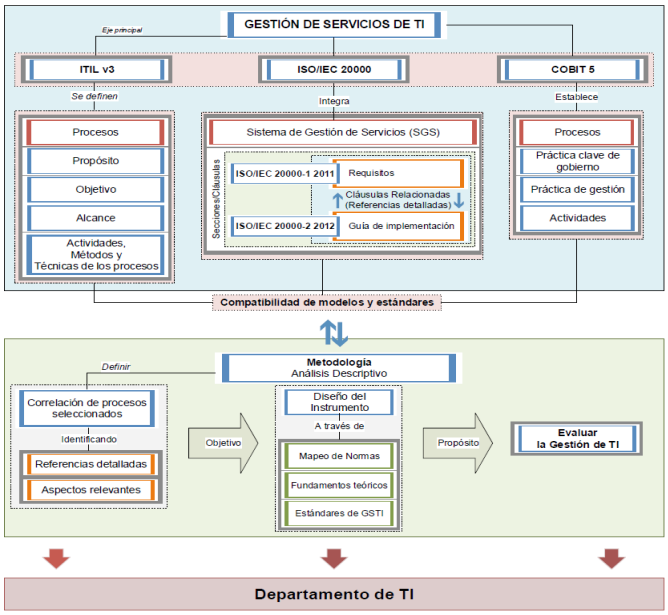


Figura 1 – Procesos para establecer el modelo de análisis y mapeo de las normas y estándares

Las dimensiones mostradas en la Tabla 1 son el resultado de un proceso dinámico, documentado y clasificado de acuerdo a los procesos seleccionados y desde el contexto de ITIL hacia COBIT e ISO; estableciendo la relación de las normas previamente descritas y el soporte necesario a través de la revisión exhaustiva de la documentación oficial de cada norma y estándar.

2.1. Participantes

Para la investigación se tomó como unidad poblacional, una empresa privada dedicada a la prestación de servicios telefónicos y telemarketing con más de 15 años de experiencia en Ecuador. El tipo de muestreo es no probabilístico, considerando únicamente al área de TI y personal interno como roles participantes. Los participantes se escogieron considerando un tiempo mayor de 4 años de permanencia en la empresa y que el nivel de educación mínimo alcanzado sea educación universitaria completa. Además, se consideró pertinente que las partes auditadas y auditoras no sean comunes entre departamentos. En este sentido, se seleccionaron 4 auditores internos y 4 representantes de jefaturas del área de TI. En relación con los datos demográficos de los auditores, el rango de edad fue entre 30 y 35 años. Acerca del género, el 50% fueron hombres y el otro 50% mujeres. Por otra parte, el rango de edad de los auditados fue entre 30 y 35 años. Acerca del género, el 100% fueron hombres y la experiencia comprendía entre 4 y 9 años.

2.2. Instrumento

El modelo del instrumento propuesto se compone de 73 ítems; establecidos en función de los procesos seleccionados y su diseño se fundamenta en las 19 dimensiones descritas en la Tabla 1. Los ítems fueron medidos utilizando la escala de Likert de 4 niveles ("No se hace (0)", "Necesita reforzarse (1)", "Parcialmente Logrado (2)", "Completamente Logrado (3)"). Por otro lado, se determinó la obligatoriedad de los ítems para reducir brechas de respuestas no válidas.

2.3. Procedimiento

La validez del contenido del instrumento se basó en la metodología de Escobar-Pérez & Cuervo-Martínez (2008), presentando una guía para la realización de juicios de expertos, en el que se evaluó la suficiencia, claridad, coherencia y relevancia de cada ítem del instrumento. Así mismo, de acuerdo a los criterios de los jueces expertos, se consideró realizar las debidas mejoras al instrumento, conservando la claridad semántica del mismo. En general, de acuerdo a las consideraciones y observaciones de los expertos en la propuesta inicial conformada por 68 ítems; se adicionaron 5 ítems detallados como parte de los procesos de GC (2 ítems), GL (1 ítem), GI (1 ítem) y GP (1 ítem), y además se modificaron 15 ítems que corresponden a los procesos de GC (9 ítems), GL (1 ítem), GI (3 ítems), y GP (2 ítems), quedando en total 73 ítems.

Proceso	Dimensión	Ítems	Total
Gestión del cambio (GC)	Registro y categorización de RFCs	4	16
	Evaluación y aprobación de RFCs	5	
	Implementación de los cambios de TI	4	
	Calidad de los cambios del servicio de TI	3	
Gestión de lanzamiento y despliegue (GL)	Definición de planes de lanzamiento y despliegue	3	15
	Compilación y pruebas	4	
	Identificación de problemas o riesgos	2	
	Documentación y registros	2	
	Soporte de producción	4	
Gestión de incidentes (GI)	Identificación y registro de incidentes	5	14
	Investigación y diagnóstico del incidente	4	
	Resolución y recuperación del incidente	2	
	Satisfacción de la resolución del incidente	3	
Gestión de problemas (GP)	Capacidad de diagnóstico de problemas	7	15
	Capacidad de respuesta a problemas	5	
	Autoconocimiento	3	
Mesa de servicio (MS)	Canalización de peticiones	4	13
	Coordinación del soporte de TI	5	
	Calidad del servicio de TI	4	
		Total	73

Tabla 1 – Dimensiones del instrumento

Para la aplicación del instrumento se contó con el beneplácito de los participantes seleccionados. Como primer paso, se consideró un tiempo determinado de un mes para socializar e impulsar la sensibilidad con los participantes de que el proceso de recolección de datos era con fines investigativos y manteniendo la anonimidad, con el propósito de obtener respuestas honestas, veraces. Por otra parte, los auditores fueron capacitados sobre los aspectos a considerar como parte del objetivo de evaluación. Consecuentemente, las partes auditadas fueron contactadas personalmente para facilitar información durante el proceso de auditoría y la ejecución del instrumento que duró aproximadamente dos semanas.

Posteriormente, para evidenciar el grado de validez y generalizabilidad del instrumento propuesto las mediciones obtenidas deben conducir a los mismos o similares resultados, sin importar las posibles variaciones que puedan afectar el instrumento (Zúñiga-Brenes & Montero-Rojas, 2007).

Por ello, a través de la Teoría de la Generalizabilidad se analizará y comparará la eficiencia de diferentes diseños posibles, brindando guías en la construcción del instrumento de medición propuesto; estimando la fiabilidad al informar sobre el valor esperado de otras medidas tomadas en condiciones equivalentes (Cardinet, Tourneur, & Alla, 1976).

3. Análisis de Resultados

Para el análisis de datos se utilizó el software EduG versión 6.1-e para evaluar la calidad de los datos obtenidos, a través del análisis de la varianza (ANOVA) y los coeficientes de generalizabilidad. En la primera fase denominada plan de observación, se definieron en la Tabla 2 las facetas de diferenciación como resultado del análisis de las variables de asignación identificadas en el estudio, además del diseño de observación y los niveles para el estudio G.

Facetas	Etiqueta	Niveles	Universo
Departamento	D	4	6
Ítems	I	73	INF
Auditor	A	4	INF

Tabla 2 – Facetas de la TG

Tanto las facetas de los ítems y auditores son facetas aleatorias dado que se extrae de un conjunto infinito (o hipotéticamente infinito) de niveles admisibles. Por otra parte, los departamentos tienen una faceta fija debido a que dentro del contexto organizacional seleccionado existen seis departamentos que conforman el área de TI; por lo cual los niveles observados agotan los niveles admisibles. De esta manera, dentro del estudio G, se ha considerado un modelo mixto debido a la faceta establecida como universo finito (Departamentos).

En la segunda fase denominada plan de estimación; se realiza un análisis de componentes de varianza[1] en función del diseño de medida A/DI; donde se estimaron

[1] Componentes de varianza - D: Departamentos; I: Ítems; A: Auditores; FV: Fuente de Variación;

los porcentajes ANOVA de las puntuaciones obtenidas sobre las facetas de estudio y el Coeficiente de Generalizabilidad (ρ). El análisis de la estimación de los componentes de varianza sobre el diseño de medida A/DI, se fundamenta en el ámbito de los procesos seleccionados y no en sus dimensiones (Tabla 1) debido al desbalance de ítems que existe por cada dimensión.

De forma general los cinco escenarios (Tablas 3, 4, 5, 6, 7), identifican claramente las fuentes de errores de medición de mayor porción de varianza; determinadas por las interacciones IA y DIA. En este caso, IA (Procesos GC, GI, GP, MS) está dado en función de los auditores y la diferenciación de las puntuaciones por proceso; considerando como factor la severidad en la evaluación por no tener claridad en el ítem y el propósito dentro del proceso.

				Componentes				
FV	**SC**	**GL**	**MC**	**MA**	**MM**	**CC**	**%V**	**EE**
D	4,855	3,000	1,618	0,008	0,008	0,008	1,200	0,017
I	19,652	15,000	1,310	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033
A	3,605	3,000	1,202	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
DI	19,082	45,000	0,424	0,033	0,033	0,033	5,000	0,024
DA	8,566	9,000	0,952	0,041	0,041	0,041	6,200	0,025
IA	57,332	45,000	1,274	0,246	0,294	0,294	44,100	0,066
DIA	39,246	135,000	0,291	0,291	0,291	0,291	43,500	0,035
Total	152,340	255,000					1,000	
ρ	0,000							

Tabla 3 – Análisis de componentes de varianza de la gestión del cambio (GC)

				Componentes				
FV	**SC**	**GL**	**MC**	**MA**	**MM**	**CC**	**%V**	**EE**
D	0,950	3,000	0,317	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
I	31,775	14,000	2,270	0,000	0,017	0,017	1,500	0,058
A	0,883	3,000	0,294	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008
DI	40,425	42,000	0,963	0,099	0,099	0,099	8,900	0,054
DA	4,550	9,000	0,506	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015
IA	78,492	42,000	1,869	0,325	0,420	0,420	38,100	0,101
DIA	71,575	126,000	0,568	0,568	0,568	0,568	51,500	0,071
Total	228,650	239,000					1,000	
ρ	0,000							

Tabla 4 – Análisis de componentes de varianza de la gestión de lanzamiento y despliegue (GL)

SC: Suma de Cuadrados; GL: Grados de Libertad; MC: Media Cuadrática; MA: Modelo Aleatorio; MM: Modelo Mixto; CC: Componentes Corregidos; %V: Porcentaje de Varianza; EE: Error Estándar; ρ: Coeficiente de Generalizabilidad Relativo.

				Componentes				
FV	**SC**	**GL**	**MC**	**MA**	**MM**	**CC**	**%V**	**EE**
D	18,549	3,000	6,183	0,097	0,097	0,097	8,400	0,070
I	7,683	13,000	0,591	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042
A	2,799	3,000	0,933	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016
DI	24,763	39,000	0,635	0,083	0,083	0,083	7,200	0,036
DA	3,612	9,000	0,401	0,007	0,007	0,007	0,600	0,013
IA	108,013	39,000	2,770	0,617	0,667	0,667	57,700	0,153
DIA	35,326	117,000	0,302	0,302	0,302	0,302	26,100	0,039
Total	200,746	223,000					1,000	
ρ	0,000							

Tabla 5 – Análisis de componentes de varianza de la gestión de incidentes (GI)

				Componentes				
FV	**SC**	**GL**	**MC**	**MA**	**MM**	**CC**	**%V**	**EE**
D	18,013	3,000	6,004	0,101	0,101	0,101	8,500	0,063
I	18,483	14,000	1,320	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047
A	3,113	3,000	1,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015
DI	13,050	42,000	0,311	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021
DA	0,438	9,000	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
IA	115,950	42,000	2,761	0,583	0,654	0,654	55,200	0,148
DIA	54,250	126,000	0,431	0,431	0,431	0,431	36,300	0,054
Total	223,296	239,000					1,000	
ρ	0,000							

Tabla 6 – Análisis de componentes de varianza de la gestión de problemas (GP)

				Componentes				
FV	**SC**	**GL**	**MC**	**MA**	**MM**	**CC**	**%V**	**EE**
D	16,130	3,000	5,377	0,096	0,096	0,096	8,300	0,065
I	42,548	12,000	3,546	0,050	0,051	0,051	4,400	0,093
A	0,399	3,000	0,133	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013
DI	13,183	36,000	0,366	0,006	0,006	0,006	0,500	0,024
DA	3,313	9,000	0,368	0,002	0,002	0,002	0,200	0,013
IA	97,913	36,000	2,720	0,594	0,651	0,651	56,700	0,156
DIA	37,125	108,000	0,344	0,344	0,344	0,344	29,900	0,046
Total	210,611	207,000					1,000	
ρ	0,000							

Tabla 7 – Análisis de componentes de varianza de la mesa de servicio (MS)

Por otra parte, DIA (Proceso GL) corresponden a otras fuentes de errores no considerados en las interacciones; por mencionar, tiempos de respuesta, estado de ánimo, entre otros. Estos componentes de varianza representan más de la variabilidad total en cada escenario de análisis con un promedio de 50,4% y 37,5% respectivamente. Los resultados en las tablas 3, 4, 5, 6, 7 indican que existe una alta concordancia (ρ = 0,000) por parte de los auditores, dado por la similitud de sus puntuaciones (Hernández Mendo et al., 2010).

Considerando las nuevas líneas de investigación que abre nuestro trabajo para profundizar en los estudios sobre instrumentos validados para la auditoría al área de TI con respecto a la gestión de servicios; es necesario adaptar el modelo en función de los departamentos restantes para generalizarlo en la empresa. De esta forma, se considera una tercera fase denominada plan de optimización; los resultados obtenidos de las optimizaciones (Tablas 8, 9, 10, 11, 12) demuestran que el instrumento en cada proceso es generalizable para evaluarse en todos los departamentos de TI de la empresa (ρ=0,00) (Hernández Mendo et al., 2010).

	Estudio G		**Opción 1**		**Opción 2**	
	Nivel	**Universo**	**Nivel**	**Universo**	**Nivel**	**Universo**
D	4	6	5	6	6	6
I	16	INF	16	INF	16	INF
A	4	INF	4	INF	4	INF
Observación		256		320		384
ρ		0,000		0,000		0,000

Tabla 8 – Plan de optimización del diseño A/DI para la gestión del cambio (GC)

	Estudio G		**Opción 1**		**Opción 2**	
	Nivel	**Universo**	**Nivel**	**Universo**	**Nivel**	**Universo**
D	4	6	5	6	6	6
I	15	INF	15	INF	15	INF
A	4	INF	4	INF	4	INF
Observación		240		300		360
ρ		0,000		0,000		0,000

Tabla 9 – Plan de optimización del diseño A/DI para la gestión de lanzamiento y despliegue

El modelo propuesto en la fase de observación determina que la evaluación de la calidad del servicio de TI como parte del proceso de auditoría tiene 5 dimensiones; en donde el instrumento es generalizable en cada análisis de componentes de varianza. Así mismo, se puede observar que los niveles determinados para los componentes son aceptables según los parámetros propuestos.

	Estudio G		Opción 1		Opción 2	
	Nivel	**Universo**	**Nivel**	**Universo**	**Nivel**	**Universo**
D	4	6	5	6	6	6
I	14	INF	14	INF	14	INF
A	4	INF	4	INF	4	INF
Observación		224		280		336
ρ		0,000		0,000		0,000

Tabla 10 – Plan de optimización del diseño A/DI para la gestión de incidentes

	Estudio G		Opción 1		Opción 2	
	Nivel	**Universo**	**Nivel**	**Universo**	**Nivel**	**Universo**
D	4	6	5	6	6	6
I	15	INF	15	INF	15	INF
A	4	INF	4	INF	4	INF
Observación		240		300		360
ρ		0,000		0,000		0,000

Tabla 11 – Plan de optimización del diseño A/DI para la gestión de problemas

	Estudio G		Opción 1		Opción 2	
	Nivel	**Universo**	**Nivel**	**Universo**	**Nivel**	**Universo**
D	4	6	5	6	6	6
I	13	INF	13	INF	13	INF
A	4	INF	4	INF	4	INF
Observación		208		260		312
ρ		0,000		0,000		0,000

Tabla 12 – Plan de optimización del diseño A/DI para la mesa de servicio

4. Conclusiones

Durante esta investigación, se llevó a cabo la revisión bibliográfica sobre los diferentes conceptos de calidad del servicio, medición de la calidad, gestión de servicios en TI e instrumentos de medición validados para la GSTI; en donde no se evidenciaron estudios sobre instrumentos (rúbricas) validados y fiables para la gestión de servicios de TI basados en normas y estándares propios de este ámbito.

La metodología empleada para el diseño y elaboración del instrumento, y la posterior comprobación de su validez estuvo basada en la revisión bibliográfica correspondiente y sustentada por la documentación oficial de las normas y estándares para la GSTI (ITIL,

COBIT e ISO). Como resultado de la investigación surgió un modelo de rúbrica enfocado a la prestación de servicios y a evaluar la calidad de los servicios de TI como parte del proceso de auditoría interna.

Dentro del proceso de validez del instrumento se calculó los coeficientes de generalizabilidad (ρ = 0) de cada una de las cinco dimensiones en función de los procesos seleccionados, confirmando la fiabilidad con base en la concordancia en las puntuaciones de los auditores. Luego, con la finalidad de generalizar la aplicabilidad del instrumento, se realizó el cálculo de la optimización del diseño en función de departamentos arrojando resultados satisfactorios; en donde los valores del coeficiente de generalizabilidad (ρ=0) evidencian la concordancia dado que no hay diferencias significativas entre los resultados de los auditores.

En relación con normas, estándares o buenas prácticas existentes en la GSTI, estas establecen los lineamientos a considerarse para su aplicabilidad en el proceso de auditoría de TI. Sin embargo, carecen de documentación sobre el proceso de auditoría para la GSTI; en este sentido, esta investigación explora documentos formales de las normas y estándares para la GSTI e integra aspectos determinantes de los procesos seleccionados, proponiendo un instrumento para las organizaciones dedicadas a la prestación de servicios de TI y un aporte importante como marco de trabajo dentro del campo de auditoría. Así este trabajo contribuye desde el punto de vista de la aplicación de la técnica, porque se evidencia que la misma permite validar instrumentos, algo que se denota como falencia en la de auditoría de TI.

Un aspecto fundamental considerado en el estudio, se establece por la selección de la empresa representativa como objeto de análisis; en donde la gestión de la cadena de servicio de TI es muy importante dado a su naturaleza, justificando su aplicación sobre los procesos seleccionados e inherentes como parte del giro de negocio. Con respecto a lo mencionado y a los resultados hallados con la aplicación del instrumento, se puede concluir que se establece como un modelo integral, preciso y adaptado al giro de negocio y al contexto organizacional seleccionado.

En relación con las limitantes de este estudio, se establece el giro de negocio seleccionado y definido como una empresa que brinda servicios telefónicos y procesos de TI consistentes. Dado que en otras empresas de menor tamaño o diferente enfoque de negocio puede cambiar el ámbito de los procesos y las facetas del estudio variarían según la naturaleza de la empresa y la relevancia de los servicios de TI. Por otro lado, como segunda limitación se establece la generalización del instrumento a través de los procesos seleccionados; en donde el análisis del estudio G se realizó sobre los datos consolidados por cada proceso, dado al desbalance en el total de ítems según el ámbito y las dimensiones definidas de forma particular; lo cual se determina como una limitante de la técnica.

En conclusión, dadas estas limitaciones y considerando la investigación en el futuro; diferentes son los campos de profundización que se deben considerar, entre los cuales se pueden mencionar, la aplicación del instrumento propuesto en empresas similares para constatar la concordancia de las evaluaciones bajo las mismas consideraciones expuestas en la presente investigación.

En el campo de la auditoría de TI, se propone establecer el instrumento como tema de diagnóstico para auditorías internas y externas conforme a los procesos seleccionados

en el estudio o de conformidad a las normativas de cumplimientos legales determinadas por los entes reguladores. Desde otra perspectiva, instituir el instrumento como un marco comparativo para la auditoría externa en relación con el giro de negocio; de tal forma que los resultados sean concordantes con la situación actual de la empresa al momento de su evaluación.

Finalmente, se sugiere evaluar periódicamente los resultados del instrumento, promoviendo de esta forma la mejora continua en los procesos de TI y aumentado la confiabilidad de aplicabilidad del instrumento; de tal manera que permita estandarizar el instrumento, lograr una mayor precisión de generalización de resultados, mayor adaptabilidad en el entorno organizacional y mejorar la gestión de la calidad de los servicios de TI.

Referencias

Baños, G., Melendez, K., & Dávila, A. (2016). Prácticas adoptadas de la ISO/IEC 20000 en pequeñas organizaciones desarrolladoras de software que ofrecen mesa de servicios. Un estudio de caso. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, *2016*(20), 1–17. https://doi.org/10.17013/risti.20.1-17

Bayona, S., Baca, Y., & Vela, G. (2017). IT service management using ITIL v3: A case study. *2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1–6. https://doi.org/10.23919/CISTI.2017.7975963

Bell III, T. J., & Smith, T. (2011). The Assimilation of Marketing's Service Quality Principles and the IT Auditing Process: A Move Toward Quantifiable SAS 70 Auditing Service Quality, Part 2. *ISACA Journal*, *4*, 1–7.

Blanco, A. (1989). Fiabilidad y generalización de la observación conductual. *Anuario de Psicología*, (43), 5–32. Retrieved from http://www.raco.cat/index.php/AnuarioPsicologia/article/view/64612/88638

Blanco Villaseñor, Á., Castellano Paulis, J., Hernández Mendo, A., Sánchez López, C. R., & Usabiaga, O. (2014). Aplicación de la TG en el deporte para el estudio de la fiabilidad, validez y estimación de la muestra. *Revista de Psicología Del Deporte*, *23*(1), 131–137.

Cardinet, J., Tourneur, Y., & Alla, L. (1976). The Symmetry of Generalizability Theory: Applications to Educational Measurement. *Journal of Educational Measurement*, *13*(2), 119–135.

Cobo-Merino, B., Batanero-Bernabeu, M. C., & Díaz Batanero, C. (2003). Fiabilidad y generalizabilidad. Aplicaciones en la evaluación educativa. *Numeros*, *54*, 3–21. Retrieved from http://www.ugr.es/~batanero/pages/ARTICULOS/fiabilidad.pdf

Dickinson, P., & Adams, J. (2017). Values in evaluation – The use of rubrics. *Evaluation and Program Planning*, *65*, 113–116. https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2017.07.005

Duque, oliva, & Jair, E. (2005). Revisión del concepto de calidad del servicio y sus modelos de medición. *Innovar*, *25*, 64–80.

Duque, E., Cervera, A., Rodríguez Romero, C., Mba Dea, M., & de la, profesor. (2006). Estudio bibliométrico de los modelos de medición del concepto de calidad percibida del servicio en Internet. *Innovar*, *16*(28), 223–243.

Duque Oliva, E. J., Javier, A., & Baquero, C. (2014). Validación del modelo SERVPERF en el ámbito de internet: un caso colombiano. *Suma de Negocios*, *5*(12), 115–123. https://doi.org/10.1016/S2215-910X(14)70033-3

Escobar-Pérez, J., & Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez De Contenido Y Juicio De Expertos: Una Aproximación a Su Utilización. *Avances En Medición*, *6*, 27–36.

Gil-Gómez, H., Oltra-Badenes, R., & Adarme-Jaimes, W. (2014). Service quality management based on the application of the ITIL standard . *DYNA (Colombia)*, *81*(186), 51–56.

Gronroos, C. (1994). Marketing y gestión de servicios: la gestión de los momentos de la verdad y la competencia en los servicios. *Ediciones Díaz de Santos*.

Grönroos, C. (1988). *Service Quality: The Six Criteria of Good Service Quality*.

Hernández Mendo, A., Díaz Martínez, F., Morales Sánchez, V., Mendo, A. H., Martínez, F. D., & Sánchez, V. M. (2010). Construcción de una herramienta observacional para evaluar las conductas prosociales en las clases de educación física. *Revista de Psicologia Del Deporte*, *19*(2), 305–318.

Hochstein, A., Tamm, G., & Brenner, W. (2005). Service-Oriented It Management : Benefit , Cost and Success Factors. *13th European Conference on Information Systems*, (Ecis).

Iden, J., & Eikebrokk, T. R. (2013). Implementing IT Service Management: A systematic literature review. *International Journal of Information Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2013.01.004

Jia, R., Reich, B. H., & Jia, H. H. (2016). A commentary on: "Creating agile organizations through IT: The influence of IT service climate on IT service quality and IT agility." *Journal of Strategic Information Systems*, *25*(3), 227–231. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2016.06.001

Larraz, N., Allueva, P., & Blanco-Villaseñor, Á. (2014). Estimación de la precisión de un programa educativo mediante la Teoría de la Generalizabilidad. *Interamerican Journal of Psychology*, *48*(1), 64–70. Retrieved from www.redalyc.org/articulo.oa?id=28432716008

Lee, C. H., Zhao, X., & Lee, Y. C. (2019). Service quality driven approach for innovative retail service system design and evaluation: A case study. *Computers and Industrial Engineering*, *135*, 275–285. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.001

Melendez, K., Dávila, A., & Pessoa, M. (2016). Information technology service management models applied to medium and small organizations: A systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*, *47*, 120–127. https://doi.org/10.1016/j.csi.2015.10.001

Ministr, J. (2013). The influence of human resources on the IT service management. *Proceedings of the International Conference on Information Technology Interfaces, ITI*, *4*(1), 323–328. https://doi.org/10.2498/iti.2013.0561

Moskal, B. M., & Leydens, J. A. (2000). Scoring rubric development: Validity and reliability. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, *7*(10), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.asw.2010.01.003

Panadero, E., & Jonsson, A. (2013). The use of scoring rubrics for formative assessment purposes revisited: A review. *Educational Research Review*, *9*, 129–144. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.002

Parasuraman, A, Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1985). A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research. *Journal of Marketing Development and Competitiveness*, 41–50.

Parasuraman, Arun, Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: A Multiple-item Scale for Measuring Customer Perceptions of Service Quality. *Journal of Retailing*, *64*(1), 12–40.

Pitt, L., Berthon, P., & Lane, N. (1998). Gaps within the IS department: Barriers to service quality. *Journal of Information Technology*, *13*(3), 191–200. https://doi.org/10.1080/026839698344837

Praeg, C. P., & Schnabel, U. (2006). IT-service cachet - Managing IT-service performance and IT-service quality. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, *2*. https://doi.org/10.1109/HICSS.2006.237

Reddy, Y. M., & Andrade, H. (2010). A review of rubric use in higher education. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, *35*(4), 435–448. https://doi.org/10.1080/02602930902862859

Seth, N., Deshmukh, S. G., & Vrat, P. (2005). Service quality models: A review. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *22*(9), 913–949. https://doi.org/10.1108/02656710510625211

Vispoel, W. P., Morris, C. A., & Kilinc, M. (2018). Applications of generalizability theory and their relations to classical test theory and structural equation modeling. *Psychological Methods*, *23*(1), 1–26. https://doi.org/10.1037/met0000107

Zumba-Vásquez, C., García-Peláez, D., & Bolaños-Burgos, F. (2018). Proposal of a framework for the internal audit to the service management of the department of information technologies. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, *2018-June*, 1–5. https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399441

Zúñiga-Brenes, M. E., & Montero-Rojas, E. (2007). Teoría G : un futuro paradigma para el análisis de pruebas psicométricas. *Actualidades En Psicología*, *21*, 117–144.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 15/06/2019
Aceitação/Acceptance: 17/09/2019

Modelo de Aseguramiento de Calidad para los Procesos de Desarrollo de Software en Pymes

Bryan Aranibar[1], Johanna Méndez[1], David Mauricio[2]

u201220104@upc.edu.pe, u201211986@upc.edu.pe, dmauricio@unmsm.edu.pe

[1]Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas del Perú, Surco, Lima 01, Lima, Perú

[2]Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Cercado de Lima, Lima 01, Lima, Perú

Pages: 67–80

Resumen: Actualmente, el aseguramiento de calidad se ha convertido en un punto clave en el desarrollo de software, por lo que se han creado diversos modelos de aseguramiento de calidad con el objetivo de mejorar los procesos de su creación. Sin embargo, la mayoría estos modelos se orientan a las grandes empresas. En este artículo se propone un modelo de aseguramiento de calidad (MACPSP) para ayudar a las pymes a mejorar sus procesos de desarrollo de software, basado en el ciclo de Deming para la mejora continua y en las buenas prácticas del CMMI y la ISO 12207. El modelo propuesto se adapta a cualquier metodología de desarrollo, y es fácil de implementar. La implementación del modelo para un proyecto de una Pyme muestra una reducción de defectos, una mejor definición de requerimientos y mayor porcentaje de éxito en los casos de prueba.

Palabras-clave: calidad; modelo; proceso; CMMI; ISO 12207; Deming

Quality Assurance Model for software development processes in SMEs

Abstract: Currently quality assurance has become a key point in the development of software, which is why various quality assurance models have been created with the aim of improving the processes of its creation. However, most of these models are oriented to large companies. This article proposes a quality assurance model (MACPSP) to help SMEs improve their software development processes, based on the Deming cycle for continuous improvement and on the good practices of CMMI and ISO 12207 The model has been adapted to any development methodology, and is easy to implement. The implementation of the model for a project of a SME shows a reduction of defects, a better definition of the requirements and a higher percentage of success in test cases.

Keywords*:* quality; model; process; CMMI; ISO 12207; Deming

1. Introducción

El uso de software en el ámbito empresarial ayuda a las organizaciones a optimizar sus procesos, adoptar sus productos a diferentes sectores del mercado, incrementa su

competitividad y sirve como un recurso útil, indispensable y fundamental en su economía (Sherman, 2016). Sin embargo, a pesar del avance en la industria de software, todavía siguen subsistiendo grandes problemas durante el proceso de desarrollo de software. En el informe CHAOS, el índice de fracaso de los proyectos de software considerados se incrementó del 17% al 19% en el 2015 (CHAOS, 2016).

Entre los factores que impactan a que los proyectos de software fracasen está el poco enfoque que se le da a la calidad durante la elaboración de un producto software. La calidad del producto está normalmente influenciada por la calidad del proceso utilizado (Karnavel & Dillibabu, 2014), el cual debe ser también de calidad. Es necesario que se supervise cada tarea de desarrollo y su rendimiento en distintas fases de su ciclo de vida. Si se logra desarrollar un proceso correcto, se logrará crear productos repetibles, sostenibles, continuos y finitos.

A pesar de la gran importancia que tiene las Pequeñas y Medianas Empresas (Pymes) en la economía, representando más del 90 por ciento del total de empresas, generando entre el 60 y el 70 por ciento del empleo y son responsables del 50 por ciento del Producto Interior Bruto (PIB) a nivel mundial (ONU, 2017), y en particular el sector creciente de software, los modelos de calidad de procesos y productos para este último, fueron estructurados para ser aplicadas a grandes empresas, por lo que adaptarlas a las pymes de software resulta difícil, debido a que conlleva una gran inversión en dinero, tiempo y recursos (Grados, 2015; Amer et al., 2019), que lo hace inaccesible.

Algunos modelos de calidad de proceso de software para Pymes como Moprosoft, MPS BR, Competisoft, e ITmark, cuentan con algunas desventajas que dificulta su uso. En los casos de Moprosoft, MPS.BR, y Competisoft, no definen roles, herramientas e indicadores asociados a los procesos (Lazo et al.,2016). En cuanto a ITmark para su implementación las empresas requieren diversas herramientas que generalmente son desvinculadas entre sí, lo que genera dificultades para gestionarlas (Carvajal & Villamizar, 2016).

En este trabajo se introduce un modelo ágil y simple de aseguramiento de calidad en el proceso de desarrollo de software para Pymes, basado en las buenas prácticas del área de Process and Product Quality Assurance (PPQA) del CMMI-DEV y del Quality Assurance (QA) del ISO 12207, y del ciclo de Deming para la mejora continua. Se uso CMMI-DEV ya que reúne un conjunto de buenas prácticas de ingeniería de software para la mejora gradual de los procesos (Luna et al., 2015), se tomaron las que eran necesarias y posibles implementar dentro de una Pyme. Con este mismo criterio se seleccionaron las prácticas de la ISO 12207. También se usó el ciclo de Deming ya que ha mostrado ser una herramienta muy exitosa en la mejora continua para las Pymes debido a que de manera constante mejora la calidad y la productividad e incrementa las oportunidades de éxito a través de validaciones continuas.

El artículo se organiza en 5 secciones. En la sección 2, hacemos una breve revisión de literatura sobre modelos de aseguramiento de calidad en proceso de desarrollo de software para Pymes. Se propone el modelo para el aseguramiento de calidad en proceso para Pymes en la sección 3. La validación del modelo es presentada en la sección 4. Finalmente, las conclusiones siguen en la sección 5.

2. Revisión de la literatura

La ISO 9000 establece que el aseguramiento de calidad de software (QA) son todas las acciones sistemáticas y planificadas, necesarias para proporcionar una confianza adecuada de que un producto o servicio satisfaga los requisitos dados de calidad (ISO 9000, 1987). Además, suministra la seguridad de que los procesos y productos estén de acuerdo con los requerimientos especificados y se adhieren a los planes establecidos (Casañola et al., 2011). Para este fin, diversos autores plasmaron modelos de calidad para el proceso de software.

Desde hace más de 4 décadas se vienen desarrollando modelos de calidad de software (McCall, 1994), una revisión de modelos de calidad de producto se encuentra en (Miguel et al., 2014), a continuación, revisaremos algunos modelos de calidad de procesos de software para Pymes.

Un modelo que integra el talento humano dentro del proceso de desarrollo de software basado en los procesos, prácticas y herramientas del CMMI, TSP y PSP es propuesto en (Chavarría et al., 2016), cuya implementación en un Pyme logra reducir el coste y los defectos, e incrementa la satisfacción del usuario. En (Carrizo & Alfaro,2018) propone un método llamado ACS la que contienen tres componentes: La Esencia, que busca la comprensión del concepto de calidad, herramientas, para controlar la calidad en el proyecto de software y las métricas utilizadas para medir los resultados y mejorar los procesos internos. Enfocado principalmente para proyectos de desarrollo de software. En (ArunKumar & Dillibabu, 2016) se proponen un modelo llamado Kano Lean Six Sigma (KLSS) que integra los modelos Kano y Lean Six Sigma. Usa el modelo Kano para categorizar y priorizar los requerimientos del cliente y usa la metodología LSS para mejorar el proceso, eliminar procesos desechos, reducir ciclos de tiempo y acelerar procesos. A pesar de que ha sido probado en empresas grandes, también pueden ser usados en empresas medianas o pequeñas. Un modelo económico, efectivos y práctico basado en Lean, la filosofía TQM, el ciclo PDCA y orientado a la industria del software en Pakistán es propuesto en (Shah & Ahmad, 2015). Un modelo personalizable que incluye guías, procesos, prácticas, plantillas y niveles de madurez para pequeños y medianos equipos de desarrollo de software ágil es presentado en (Hongying & Cheng, 2011), sin embargo, aún no ha sido validado en alguna empresa u organización.

El modelo Moprosoft propuesto en (Oktaba et al., 2005) es un modelo para la mejora de procesos de desarrollo y mantenimiento de productos softwares. Basado e en los modelos y estándares reconocidos internacionalmente como la ISO 9000:2000, CMM-SW, ISO/IEC 15504, PMBOK, SWEBOK, entre otros. Contiene tres categorías de procesos que corresponden a las capas de alta dirección, gestión y operación. Otro modelo enfocado en pymes es ITmark propuesto en (ITmark, 2006) mejora la calidad de los procesos y el rendimiento en el negocio. Identifica las oportunidades, fortalezas y debilidades de mejora y permite a las organizaciones contar con un plan de acción (Paredes et al., 2017). En (Martínez et al., 2018) se propone el modelo Q-Rapids, este modelo integra y analiza fuentes heterogéneas de datos durante el desarrollo de software en tiempo de ejecución y permite evaluar métricas de calidad de software en relación con métricas orientadas a negocios. Está enfocado a softwares de rápido desarrollo. En (Toro & Pelaez, 2017)

crearon un modelo basado en varios modelos internacionales (PSP,SCRUM,PMBOK,etc) con el objetivo de mejorar la calidad del producto enfocándose tanto en el proceso de desarrollo como en el proceso de la gestión.

3. Modelo de Aseguramiento de Calidad

3.1. Modelo MACPSP

El modelo MACPSP (Modelo de Aseguramiento de calidad en el Procesos de Desarrollo de Software para Pyme) tiene por objetivo mejorar la calidad del desarrollo del software en el proceso para una Pyme, considera las tres fases del ciclo de Deming para la mejora continua y una fase de cierre que se aplican en las tres etapas de desarrollo de software (análisis y diseño, construcción, y pruebas), y para cada fase, se aplican las mejores prácticas de calidad de los modelos CMMI y la ISO 12207 adecuadas para las Pymes. Ver figura 1.

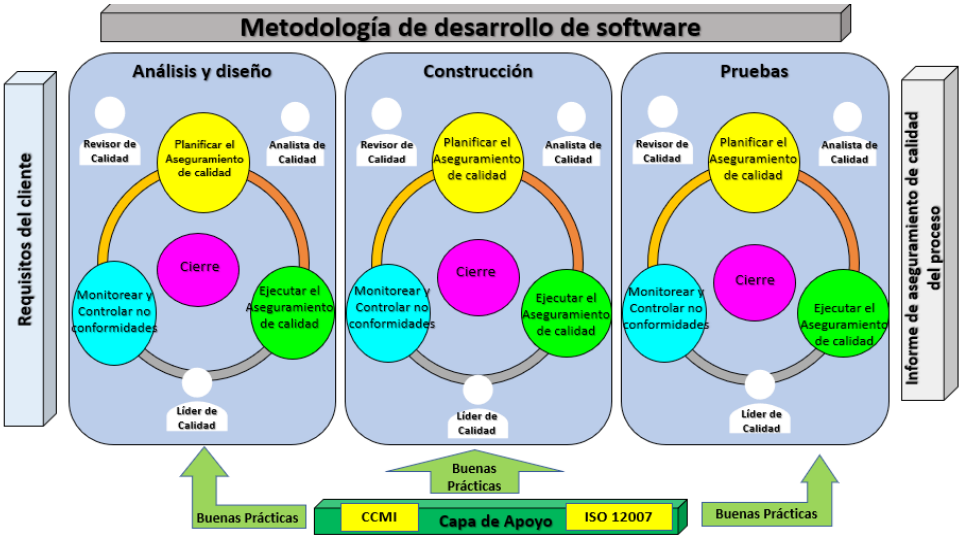


Figura 1 – Modelo de MACPSP

MACPSP se aplica a todo el ciclo de desarrollo de software (análisis y diseño, construcción y pruebas). En cada etapa del desarrollo de software se aplica el ciclo de Deming, esto es, planificar, ejecutar y monitorear, y una fase de cierre. En la etapa de análisis, primero se planifica las actividades de calidad considerando las buenas prácticas y roles y se mapean los entregables que serán revisados, segundo, se ejecuta las actividades planeadas verificando la calidad de los entregables a través de *checklist*, tercero, se traslada los resultados no conforme al equipo de análisis para hacer las correcciones, y se monitorea y controla dichas correcciones, y cuarto, si los resultados son conformes se realiza un acta de cierre y un documento de lecciones aprendidas que servirán para

nuevos proyectos. Las mismas actividades se realizan tanto para la fase de construcción como para la fase de pruebas. Al culminar todo el ciclo del Modelo MACPSP se obtiene un informe de aseguramiento de calidad del proceso en la cual se detalla los resultados obtenidos por cada etapa del desarrollo del software, las oportunidades de mejora y las lecciones aprendidas.

En contraste de los modelos revisados en la sección 2, MACPSP contiene indicadores para cada etapa de desarrollo de software con el fin de que las pymes puedan tener una mejor visibilidad del estado de sus procesos, y dado su simplicidad no requiere de expertos en calidad para su implementación en las Pymes. Además, su estructura es independiente del método de desarrollo ágil que se use, propone roles y guía a las empresas sobre las actividades que deberían seguir para poder mejorar sus procesos.

3.2. Roles

Para la realización del proceso QA, se han considerado los siguientes roles básicos:

- Líder de Calidad: Garantiza y toma acciones correctivas para el levantamiento de las observaciones encontradas durante el aseguramiento de calidad.
- Analista de Calidad: Encargado de realizar el aseguramiento de calidad de proceso, informar las no conformidades encontradas y hacer seguimiento al cierre de las no conformidades encontradas.
- Revisador de Calidad: Encargado de elaborar y proporcionar los entregables para el aseguramiento de calidad y levantar las no conformidades encontradas.

En alguna Pymes, dado su tamaño sobre todo en la región Andina, un rol puede ser compartido por una misma persona.

3.3. Practicas seleccionadas para MACPSP

Se revisaron 15 prácticas del área de PPQA del modelo CMMI ya que c y las 16 prácticas del proceso de aseguramiento de calidad de la ISO 12207, y se seleccionaron 19 prácticas considerando los criterios de adaptabilidad, simplicidad y viabilidad para que sean aplicadas a una Pyme de desarrollo de software (ver Tabla 1).

Prácticas	Id.	Sub-prácticas
Evaluar objetivamente los procesos (CMMI)	P1	Promover un entorno que aliente la participación de los empleados en la identificación y notificación de problemas de calidad
	P2	Establecer y mantener criterios claramente establecidos para las evaluaciones
	P3	Use los criterios establecidos para evaluar los procesos realizados para cumplir con las descripciones, los estándares y los procedimientos del proceso
	P4	Identifique cada incumplimiento encontrado durante la evaluación
	P5	Identifique las lecciones aprendidas que podrían mejorar los procesos para futuros productos y servicios
	P6	Seleccionar los productos de trabajo que serán evaluados, basado en criterios para selección en muestreo

Prácticas	Id.	Sub-prácticas
Comunicarse y garantizar la resolución de problemas de incumplimiento (CMMI)	P7	Resuelva cada incumplimiento con los miembros apropiados del personar siempre que sea posible
	P8	Documentar problemas de incumplimiento cuando no se pueden resolver dentro del proyecto
	P9	Escalar los problemas de incumplimiento que no se pueden resolver dentro del proyecto al nivel apropiado de administración designado para recibir y actuar en caso de problemas de incumplimiento
	P10	Analice los problemas de incumplimiento para ver si hay tendencias de calidad que puedan identificarse y abordarse
	P11	Asegurar que las partes interesadas relevantes estén al tanto de los resultados de las evaluaciones y las tendencias de calidad de manera oportuna
	P12	Revise periódicamente las cuestiones y tendencias abiertas de incumplimiento con el administrador designado para recibir y actuar en caso de problemas de incumplimiento
	P13	Rastree los problemas de incumplimiento hasta la resolución
Establecer registros (CMMI)	P14	Registre las actividades de aseguramiento de la calidad del proceso y del producto con suficiente detalle como para conocer el estado y los resultados
	P15	Revisar el estado y el historial de las actividades de garantía de calidad, según sea necesario
Implementación del proceso (ISO 12207)	P16	Se deberá asegurar que el personal asignado tiene la habilidad y los conocimientos necesarios para cumplir los requerimientos del proyecto y recibe la formación necesaria
	P17	Se recomienda preparar, documentar, implementar y mantener un plan para llevar a cabo las actividades y tareas del proceso de aseguramiento de calidad
	P18	Se debe definir un cronograma de ejecución del plan de aseguramiento de calidad
	P19	Cuando se encuentren problemas en la calidad, estas se deberán documentar y ser atendidos por el proceso de solución de problemas

Tabla 1 – Prácticas seleccionadas de CMMI e ISO 12207 para MACPSP

3.4. Fases del modelo MACPSP

Planificación del aseguramiento de calidad

En esta fase se establece los objetivos que se obtendrán con el proceso de aseguramiento de calidad. Se desarrolla una estrategia de evaluación de la calidad que es revisada por el Líder de Calidad, para después convocar a una reunión con el equipo de desarrollo y explicar el proceso de evaluación. Después, se identifica los entregables que se revisarán dentro de la etapa de desarrollo del producto y se elaboran los *checklist* para la evaluación de cada etapa del desarrollo de software. Como entradas para esta fase se tiene el Project charter y cronograma del proyecto, realizando una serie de actividades dan como resultado el plan y cronograma de PPQA, una matriz de entregables y el *checklist* para la evaluación de cada etapa del desarrollo de software. A continuación, en la tabla 2, se muestra las actividades y practicas por cada etapa del desarrollo de software.

Etapa de Desarrollo	Actividades	Prácticas
Análisis y Diseño	Realizar el Plan de PPQA	P17, P16
	Realiza el cronograma de ejecución del Plan de PPQA	P18
	Elegir entregables a ser evaluados y agregarlos a la matriz de entregables	P6
	Elaboración de los *checklist* para la fase de Análisis y Diseño	P2
Construcción	Actualización del plan de PPQA	P17, P16
	Se actualiza el cronograma de plan de PPQA de acuerdo con el cronograma actualizado del proyecto	P18
	Se define los entregables que se serán evaluados en esta fase y se actualiza la matriz de entregables	P6
	Se elaboran los *checklist* para la fase de Construcción	P2
Pruebas	Actualización del plan de PPQA	P17, P16
	Se actualiza el cronograma de plan de PPQA, de acuerdo con el cronograma actualizado del proyecto	P18
	Se define los entregables que se serán evaluados en esta fase y se actualiza la matriz de entregables	P6

Tabla 2 – Actividades de la fase de Planificación del Aseguramiento de Calidad

Para la elaboración de los *checklist*, se definieron atributos de calidad para cada fase del desarrollo de software para que los entregables sean evaluados bajo estos parámetros. A continuación, se muestra, en la tabla 3, los atributos a evaluar en cada fase del ciclo de desarrollo del software, que fueron obtenidos de (Rafique et al., 2012).

Etapa del ciclo de desarrollo	Atributos de Calidad
Análisis y Diseño	Exactitud, credibilidad, precisión, trazable, consistente, entendible
Construcción	Accesible, eficiencia, confiable, recuperable, consistente
Pruebas	Confiable, eficiencia, preciso, recuperable

Tabla 3 – Atributos de calidad por etapa de desarrollo de software

Ejecución del aseguramiento de calidad

En esta fase se da inicio al proceso de aseguramiento de calidad de acuerdo con el cronograma de PPQA establecida en la fase anterior. Se solicita los entregables acordados al equipo de desarrollo para empezar con la revisión. Al verificar que los entregables estén de acuerdo con la matriz definida en la planificación, el equipo, utilizando los artefactos provistos, identifica y documenta las desviaciones, los problemas de incumplimiento y las mejores prácticas, con base en la información en la lista de verificación apropiada. Durante la reunión de evaluación de calidad, el líder de la calidad documenta todos los problemas, deficiencias y mejores prácticas identificadas. También, se asigna una calificación para la evaluación de calidad del proceso. Esta calificación se basa en el

número de hallazgos de incumplimiento con base en la lista de verificación utilizada para la revisión.

Como entradas para esta fase se tiene el plan de PPQA, la matriz de entregables, el cronograma de ejecución y los *checklist* para cada etapa del desarrollo y como salidas se tiene la matriz actualizada, el cronograma de PPQA actualizado, el *checklist* completado y el documento de evidencias de no conformidades. A continuación, en la tabla 4, se muestra las actividades y practicas por cada etapa del desarrollo de software.

Etapas de Desarrollo	**Actividades**	**Prácticas**
Análisis y Diseño	Se realiza la respectiva revisión mediante el *checklist*	P3, P20
	Se registran las evidencias obtenidas	P4, P8
	Se comunica las no conformidades encontradas	P11
Construcción	Se realiza la respectiva revisión mediante el *checklist* para la fase de Construcción	P3, P20
	Se registran las evidencias obtenidas durante la revisión	P4, P8
	Se comunica al equipo de desarrollo las no conformidades encontradas	P11
Pruebas	Se realiza la respectiva revisión mediante el *checklist* para la fase de Pruebas	P3, P20
	Se registran las evidencias obtenidas durante la revisión de Pruebas	P4, P8
	Se comunica al equipo de desarrollo las no conformidades encontradas	P11

Tabla 4 – Actividades de la fase de ejecución del aseguramiento de calidad

Monitoreo y Control de no conformidades:

Al culminar la fase de ejecución, se da al equipo de desarrollo un informe de los hallazgos presentados brindándoles un tiempo prudencial para poder resolverlos. El equipo de calidad se encarga de realizar un seguimiento de todos los elementos de acción abiertos identificados anteriormente. El revisor de QA se pone en contacto con el líder del equipo en intervalos acordados para verificar el estado de cualquier elemento de acción abierta. Como entrada para esta fase se tiene el documento de evidencias de no conformidades de cada fase de la etapa de desarrollo de software y como salidas se obtiene el resultado de los indicadores por cada etapa del desarrollo. A continuación, en la tabla 5, se muestra actividades y prácticas de la fase de monitoreo y control de no conformidades por cada etapa del ciclo de desarrollo de software.

Indicadores: Con el fin de medir la calidad del proceso se ha considerado los indicadores de (Revista Vinculando, 2010): Estabilidad de requerimientos, Especificación de requerimientos, Grado de validación de requerimientos, Métrica de éxito, Cobertura de pruebas, Madurez de pruebas y Densidad de defectos.

Etapas de Desarrollo	Actividades	Prácticas
Análisis y Diseño	Monitorear las no conformidades y no cumplimientos mediante la gestión de no conformidades	P9, P12, P13, P15
	Se comunica los incumplimientos y no conformidades a los analistas dando un plazo para su resolución	P7, P19
	Se mide el estado de los procesos de la fase de análisis y diseño, según las métricas propuestas	P10
	Se registran los resultados de los indicadores establecidos para la fase	P14
Construcción	Se revisa que las no conformidades que aún siguen abiertas mediante la gestión de no conformidades	P9, P12, P13, P15
	Se comunica los incumplimientos y no conformidades a los analistas dando un plazo para su resolución	P7, P19
	Se mide el estado de los procesos de la fase de análisis y diseño según las métricas propuestas	P10
	Se registran los resultados de los indicadores establecidos para la fase	P14
Pruebas	Se revisa que las no conformidades que aún siguen abiertas mediante la gestión de no conformidades	P9, P12, P13, P15
	Se comunica los incumplimientos y no conformidades a los analistas dando un plazo para su resolución	P7, P19
	Se mide el estado de los procesos de la fase de análisis y diseño, según las métricas propuestas	P10
	Se registran los resultados de los indicadores establecidos para la fase	P14

Tabla 5 – Actividades de la Fase de Monitoreo y control de no conformidades

Cierre

Durante la fase del cierre se presenta las evidencias y resultados del proceso de QA al equipo de desarrollo. Esta fase recibe documento de evidencias de no conformidades, el plan de PPQA, los resultados de los indicadores, la matriz de entregables actualizado, y el cronograma de ejecución del plan; se realizan un conjunto de actividades conforme a las prácticas; y, finalmente se realiza el acta de cierre del proceso, y documento de lecciones aprendidas del proceso de planificación de Análisis y Diseño (ver Tabla 6).

Etapas de Desarrollo	Actividades	Practicas
Análisis y Diseño	Se revisa los resultados de los indicadores para identificar las oportunidades de mejora y se registra las lecciones aprendidas	P5
	Se actualiza el cronograma de ejecución del plan de PPQA y el plan de PPQA	P18
	Comunicar los resultados al equipo de desarrollo y demás interesados	P11

Etapas de Desarrollo	Actividades	Practicas
Construcción	Se revisa los resultados de los indicadores para identificar las oportunidades de mejora y registra las lecciones aprendidas	P5
	Se actualiza el cronograma de ejecución del plan de PPQA y el plan de PPQA	P18
	Comunicar los resultados al equipo de desarrollo y demás interesados	P11
Pruebas	Se revisa los resultados de los indicadores para identificar las oportunidades de mejora y registra las lecciones aprendidas	P5
	Se actualiza el cronograma de ejecución del plan de PPQA y el plan de PPQA	P18
	Comunicar los resultados al equipo de desarrollo y demás interesados	P11

Tabla 6 – Actividades de la fase de cierre

4. Validación

4.1. Experimento

Para validar el modelo, se llevó a cabo un experimento dentro de una Pyme dedicada a dar servicios tecnológicos, servicios de investigación y diseño. Esta pyme cuenta con 2 años en la industria, tiene 20 empleados y presenta el siguiente problema: El equipo de desarrollo solo tenía como única actividad de aseguramiento de calidad la realización de pruebas unitarias durante la fase de desarrollo. En otras palabras, no tenían una visión de la calidad en las fases anteriores y esto causaba que haya replanificación, cambios costosos o el hallazgo de muchos defectos. Por estas razones, la pyme tenía el deseo de mejorar la calidad de sus procesos dentro de todo el ciclo de construcción del software, y con ello conseguir que sus productos sean de la calidad esperada por sus clientes.

Se consideró un proyecto de corto plazo sobre un sistema para reservas de mesa para un restaurante, el cual fue entregado a dos grupos (A, B) de 5 desarrolladores cada uno. Se conformó el equipo de calidad que fue capacitado en 5 sesiones de 2 horas cada una. Los grupos A y B desarrollaron el mismo proyecto, y solo el grupo A tuvo intervención del equipo de calidad que aplicó el modelo propuesto durante el desarrollo del proyecto. Cada vez que el grupo A completaba una etapa del desarrollo de software, se realizaban contrastes basados en las métricas que se obtenían para evaluar si se obtenía alguna mejora en el proceso.

4.2. Resultados

Se obtuvieron los resultados esperados con el uso del modelo propuesto. A continuación, se muestran los resultados en la tabla 7.

Fase	Métrica	Grupo A	Grupo B
Planificación	Estabilidad de requerimientos	96%	18%
	Especificación de requerimientos	95%	25%
	Grado de validación de requerimientos	80%	50%
Construcción	Métricas de éxito	75%	50%
Pruebas	Cobertura de pruebas	95%	50%
	Madurez de pruebas	83%	33%
	Densidad de defectos	15%	50%

Tabla 7 – Resultados de la validación

En la fase de Análisis, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Estabilidad de requerimientos: Como resultado de este indicador, en el proyecto que utiliza el modelo, se obtuvo que el 96% de los requisitos son estables y no sufrieron modificaciones, mientras que en el proyecto sin el uso del modelo solo el 18% no recibió modificaciones.
- Especificación de requerimientos: De acuerdo con el resultado de este indicador en la aplicación del proyecto con el modelo, se obtuvo que el 96%. de los requisitos no presentaban ambigüedad, mientras que, en el caso del proyecto sin modelo, solo el 25% de los requisitos eran inequívocos.
- Grado de validación de requerimientos: El proyecto desarrollado con el modelo muestra que el 80% de los requisitos se definieron correctamente, mientras que el proyecto sin la aplicación del modelo solo el 50% de los requisitos eran correctos.

En la fase de construcción, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Métrica de éxito: Según el indicador se puede observar que 75% de funcionalidades fueron probados con éxito, mientras que en el proyecto sin el modelo solo el 50% fueron logradas con éxito.

En la fase de pruebas, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Cobertura de pruebas: Este indicador muestra que, en el proyecto desarrollado con el modelo, se ejecutó el 95% de los casos de prueba, mientras que en el otro caso solo el 50% se realizó correctamente.
- Madurez de pruebas: El indicador muestra que, en el proyecto desarrollado con el modelo, el 83% de los casos de prueba se ejecutó correctamente, mientras que en el otro caso solo el 33% se realizó correctamente.
- Densidad de defectos: El indicador muestra que en el proyecto desarrollado con el modelo solo fue del 15%, mientras que en el otro caso se obtuvo el 50%.

5. Conclusiones

En este trabajo se propuso un modelo de aseguramiento de calidad para la mejora de los procesos de desarrollo de software en las PYMES denominado MACPSP. Este modelo fue diseñado con base en el ciclo de Deming y se tomó buenas prácticas de los modelos CCMI e ISO 12207. Las fases del modelo son las siguientes: planificación, ejecución, monitoreo y control de no conformidades y cierre. Estas fases se aplican en cada etapa del desarrollo de software de acuerdo con la metodología que utiliza la PYME. El modelo fue implementado en un proyecto dentro de una Pyme. Se organizaron dos grupos de desarrollo, en la cual el primer grupo desarrollaba el software con el modelo y el segundo sin el modelo. Los resultados fueron evaluados en cada fase del ciclo de desarrollo de software. Con la implementación del modelo se logra reducir significativamente la cantidad de defectos, una mejora en la definición de los requerimientos y mejores resultados en la aplicación de los casos de prueba, reduciéndose el tiempo desarrollo del proyecto en un 30%.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por el financiamiento parcial al presente trabajo de investigación.

Referencias

Amer, S. K., Badr, N., & Hamad, A. (2019). Combining CMMI specific practices with Scrum model to address shortcomings in process maturity. In *Proceedings of the international Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications,* (pp. 898-907). Cairo, Egypt:Springer.

ArunKumar, G., & Dillibabu, R. (2016). Design and application of new quality improvement model: Kano lean six sigma for software maintenance project. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(3), 997–1014.

Carvajal, Y. S. E., & Villamizar, L. A. E. (2016). Modelo de calidad para evaluar el software desarrollado en el centro de investigación aplicada y desarrollo en tecnologías de información CIADTI. *Revista Teckne*, 12(1), 8–18.

Carrizo, D., & Alfaro, A. (2018). Método de aseguramiento de la calidad en una metodología de desarrollo de software: un enfoque práctico. *Revista chilena de ingeniería Ingeniare,* 26(1), 114–129.

Casañola, Y. T., Estrada, A. F., Rodríguez, A. M. G., Rodríguez, Y. B., & Terrero, G.C. (2011). Modelo de aseguramiento de la calidad del proceso y el producto basado en la gestión del conocimiento.In *Proceedings of ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference*, (pp. 12-23). Medellin, Colombia

Chavarría, A. E., Oré, S. B., & Pastor, C. (2016). Aseguramiento de la calidad en el proceso de desarrollo de software utilizando CMMI, TSP y PSP. *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (20), 62–77.

Grados, Lizette. (2015). *Marco metodológico del proceso de verificación y validación de software para pequeñas y medianas empresas* (Tesis de Maestría). UNMSM, Lima, Perú.

Hongying, G., & Cheng, Y. (2011, October). A customizable agile software quality assurance model. In *Proceedings of the 5th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science,* (pp. 382-387). Macao, China: IEEE.

Itmark. (2006).*Itmark* [Internet].Recuperado de http://it-mark.eu/?&lang=es

Karnavel, K., & Dillibabu, R. (2014). Development and application of new quality model for software projects. *The Scientific World Journal*, 2014.

Martínez-Fernández, S., Jedlitschka, A., Guzmán, L., & Vollmer, A. M. (2018). A quality model for actionable analytics in rapid software development. *In Proceedings of the 2018 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications* (SEAA), (pp. 370-377). Salonica, Grecia: IEEE.

McCall, S. (1994). *A model of the universe: space-time, probability, and decision*. England,UK: Oxford University Press.

ISO 9000. (1987). Sistemas de gestión de la calidad: Fundamentos y vocabulario. International Organization for Standarization, Geneva, Switzerland.

Lazo Alvarado, Y., Gómez Barroso, C., Mariño Zayas, Y., Bony Fernández, M. M., Agramonte Díaz, E., & Batista González, D. (2016). Proceso de aseguramiento de la calidad para un modelo de la calidad en Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(2), 124–137.

Luna, A. C., Silva, J. L. R., & Morales, M. V. (2015). Estándares que contribuyen al desarrollo y entrega de productos de Software de Calidad. *Revista Ciencia Unemi*, 8(13), 90–99.

Miguel, J. P., Mauricio, D., and Rodriguez, G. D. (2014). A review of software quality models for the evaluation of software products. *International journal of Software Engineering & Applications*, 5(6), 31–54.

Oktaba, H., Esquivel, C. A., Ramos, A. S., Martínez, A. M., Osorio, G. Q., López, M. R., ... & Lemus, M. Á. F. (2005). *Modelo de procesos para la industria de software MoProSoft*. México: Secretaría de Economía.

ONU (2017). *Día de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas*. Recuperado de https://www.un.org/es/events/smallbusinessday/

Paredes, L. M., Benavides, L. B. V., & Sánchez, N. J. S. (2017). Guía de recomendación para la selección de un modelo de calidad para la mejora de procesos de software (SPI). *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(37), 25–51.

Rafique, I., Lew, P., Abbasi, M. Q., & Li, Z. (2012). Information quality evaluation framework: Extending ISO 25012 data quality model. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6(5), 568–573.

Revista Vinculando. (2010). *Propuesta de una guía de métricas para evaluar el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de http://vinculando.org/articulos/sociedad_america_latina/propuesta_guia_de_medidas_para_evaluacion_sistemas_informacion.html.

Shah, F. T., Shamail, S., & Ahmad Akhtar, N. (2015). Lean quality improvement model for quality practices in software industry in Pakistan. *Journal of Software: Evolution and Process*, 27(4), 237–254.

Sherman, P. (2016). *Usability success stories: how organizations improve by making easier-to-use software and web sites*. Routledge.

Toro, A., & Peláez, L. E. (2018). Validación de un modelo para el aseguramiento de la calidad del software en MIPYMES que desarrollan software en el Eje Cafetero. *Revista Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(23), 84–92.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 09/05/2019
Aceitação/Acceptance: 01/07/2019

Desarrollo de aplicaciones eHealth basadas en microservicios en una arquitectura de Cloud

Huriviades Calderón-Gómez[1], Francisco Navarro-Marín[1], José Manuel Gómez-Pulido[1], José Luis Castillo-Sequera[1], Alberto Garcés-Jiménez[2], María-Luz Polo-Luque[3], José Sanz-Moreno[3], Gloria Sención[4], Miguel Vargas-Lombardo[5]

huriviades.calderon@edu.uah.es, francisco.navarro@edu.uah.es, jose.gomez@uah.es, jluis.castillo@uah.es, albertogarces0@gmail.com, mariluz.polo@uah.es, josesanzm@gmail.com, dragloriasencion@gmail.com, miguel.vargas@utp.ac.pa

[1] Health Computing and Intelligent Systems Research Group (HCIS), Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 28801, Madrid, España.

[2] Foundation for Biomedical Research of Príncipe de Asturias University Hospital (FIBHUPA), Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 28801, Madrid, España.

[3] Departamento de Enfermería y Fisioterapia, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 28801, Madrid, España.

[4] Escuela de Medicina, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), Santo Domingo, 10103, Santo Domingo, República Dominicana.

[5] Grupo de Investigación en Salud Electrónica y Supercomputación (GISES), Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, 0819-07289, Panamá, Panamá.

Pages: 81–93

Resumen: En este trabajo se describe una propuesta orientada a los emergentes servicios de eHealth, para ofrecer una mejor prestación en la atención asistencial y hospitalaria. El enfoque propuesto se apoya en el desarrollo de microservicios consistentes en proporcionar una aplicación que contiene a su vez una serie de pequeños y adaptables servicios que se ejecutan de forma autónoma, comunicándose de forma interactiva y continúa. Así, se pretende fortalecer los sistemas de salud tradicionales en los que todavía se carece del Registro Médico Electrónico (RME) y los sistemas de información disponibles presentan una escasa disponibilidad en el acceso y en el procesamiento de sus datos, lo que limita la toma de decisiones clínico-médicas. Se presentan dos sistemas de información desarrollados con este enfoque, con arquitecturas de software que presentan capas estables y modificables, adaptadas a las necesidades de cualquier organización, escalables y replicadas en varios contenedores la infrautilización de recursos informáticos.

Palabras-clave: Microservicios; eHealth; SaaS; Arquitectura de Software; Data Clínica

Development of eHealth Applications-based on microservices in a cloud architecture

Abstract: This paper describes a proposal aimed at the emerging services of eHealth, to offer a better provision of personal care and hospital care. The proposed approach

is based on the development of microservices consisting in providing an application that contains a series of small and adaptable services that are executed autonomously, communicating interactively and continuing. With this, it is intended to strengthen traditional health systems in which the Electronic Medical Record (EMR) is still lacking and the information systems has limited availability in the access and processing of their data, which limit decision-making in the clinical-medical environment. Two information systems developed with this approach are presented, with software architectures that have stable and modifiable layers, adapted to the needs of any organization, scalable and replicated in several containers without underutilizing computer resources.

***Keywords**:* Microservices; eHealth; SaaS; Software Architecture; Medical History

1. Introducción

El presente trabajo presenta una arquitectura software basada en capas y microservicios como estrategias software en el contexto de la eHealth. Dichas estrategias deberán potenciar y facilitar mejoras sustanciales en la calidad de servicios TIC's en salud; reduciendo costos, mejorando la igualdad en los accesos a la información clínica vía internet, y en la autonomía de los profesionales en la asistencia clínica (médicos, enfermeras y auxiliares de enfermería). La aplicación de los microservicios, basada en las arquitecturas de software en capas, ha sido utilizada previamente en la construcción de Sistemas de Información Clínicos como es el caso de la Clínica Universitaria de la Universidad Tecnológica de Panamá, con el objetivo de consolidar los procesos de prestación de servicios eHealth, realizando una reingeniería de los procesos clínicos simplificando y mejorando el apoyo a las tareas de diagnóstico del especialista médico. Como indican (Gholap, Janeja, & Yesha, 2015; Vilaplana, Solsona, Abella, Filgueira, & Rius, 2013), estos desarrollos de software deberán orientar y mejorar el impacto en los servicios *eHealth* optimizando la comunicación entre sistemas de salud —un sistema de salud comprende todas las organizaciones, instituciones, recursos y personas cuya finalidad primordial es mejorar la salud (Organización Mundial de la Salud, 2019). Por otro lado, el proyecto *¨Diseño e implementación de un sistema inteligente de bajo coste para el prediagnótico y la teleasistencia de enfermedades infecciosas en personas de edad avanzada SPIDEP¨* ERANET LAC 2015, con el objetivo de construir un marco trabajo basado en las TIC para apoyar el diagnóstico temprano de enfermedades infecciosas. El proyecto incluye el diseño, desarrollo e implementación de una plataforma de Hardware capaz de soportar la comunicación del sistema generalizado con el entorno de la nube central (Nube en Salud). Además de un subsistema capaz de apoyar el diagnóstico clínico asistido en el campo de las enfermedades infecciosas. Este subsistema incluirá un sistema de inferencia basado en Aprendizaje automático para mejorar el soporte de decisiones para la prevención, el tratamiento y el manejo de enfermedades infecciosas.

Consideramos evidente la interdisciplinariedad en el que se halla inserta la eHealth al pertenecer a un extenso dominio al que se le aporta experiencia, esfuerzos, consensos y capacidades de diversas áreas como: interacción persona-computadora, ingeniería del software, redes sociales, telecomunicaciones, ciencias sociales, medicina, enfermería, salud pública, electrónica, robótica, etc. Actualmente, existen muchos aspectos que se deben considerar sobre el concepto *eHealth*, debido a esto, hemos decidido delimitarlo a cinco secciones para esta investigación para así describir la importancia del tema y las razones que justifican su estudio. La sección 1 aborda la presente introducción en la que

se describe la importancia del tema y las razones que justifican su estudio. En la sección 2, se examina el uso de microservicios en el contexto de eHealth; en la 3, se describen las etapas para el desarrollo de las arquitecturas de softwares en capas orientados a los microservicios; en la 4, se muestran los resultados obtenidos por las diversas pruebas de *softwares*; y en la sección 5, se vinculan los resultados con la discusión. Por último, compartimos la conclusión y exponemos la contribución de esta investigación.

2. Estado del arte: Arquitectura basada en microservicios

Recientemente, este enfoque arquitectónico ha recibido atención significativa desde el punto de vista de los investigadores en las diferentes áreas del conocimiento, como, por ejemplo: system quality, smart city clouds, migration or mobile-oriented (Di Francesco, Lago, & Malavolta, 2019; Götz et al., 2018; Krämer, Frese, & Kuijper, 2019; Li et al., 2019); sin embargo, hay pocas investigaciones enfocada al área de eHealth, específicamente al diagnóstico clínico asistido en enfermedades infecciosas, a comparación con otros trabajos relacionados (Esposito, Castiglione, Tudorica, & Pop, 2017; Jita & Pieterse, 2019; Raković & Lutovac, 2015).

Este estudio aporta una nueva visión de lo ya expuesto en las investigaciones previamente citadas, ya que nuestra contribución está orientada al diseño de las arquitecturas de capas basada en microservicios para el diagnóstico clínico asistido en el campo de las enfermedades infecciosas, facilitando así el control regular de las constantes vitales a distancia (telemedicina) de los pacientes por parte del personal médico. En este sentido, una atención preventiva minimiza la severidad de los procesos infecciosos y, colateralmente, la reducción de recursos necesarios para controlar adecuadamente el problema.

Entre la serie de ventajas que proporciona aplicar este enfoque arquitectónico se encuentra; en primer lugar, cada componente se puede duplicar para equilibrar la carga, según sea necesario (Di Francesco et al., 2019); en segundo lugar, los microservicios al aplicar una escala funcionalidad pequeña, permite que la reacción a los picos de demanda sea más rápida y precisa (Elsayed & Zulkernine, 2019), y por último al aplicar el concepto de modularidad los componentes hace que el sistema sea robusto a los fallos (Götz et al., 2018). Sin embargo, al aplicar este enfoque hay que tener presente las siguientes dificultades: en primer lugar, cada solicitud forzará al RestAPI a transporta los datos de un servicio a otro. Esto conduce a una mayor redundancia y la integridad de los datos ya no está garantizada. Por lo tanto, este método solo se recomienda si los datos no tienen que estar actualizados para cada solicitud (Yogesh, Pushkara, Shilpa, Malati, & Rashmi, 2018); en segundo lugar, se requiere del diseño de una arquitectura distribuida enfocada a los desafíos que conlleva, como, por ejemplo: latencia, falta de fiabilidad de la red, la tolerancia a fallos, la organización de servicios complejos, la coherencia de los datos y la gestión de transacciones, y el equilibrio de carga. En consecuencia, las infraestructuras en la nube desempeñan un papel fundamental para el funcionamiento de los microservicios y su complejidad (Abdullah, Iqbal, & Erradi, 2019; Di Francesco et al., 2019).

3. Métodos y Materiales: Microservicios en SaaS

Para la realización de esta arquitectura, se ha optado por el paradigma de la computación en la nube (SaaS), orientado a la implementación de microservicios, cuyo propósito es

ofrecer acceso a una serie de pequeños servicios de *software* (Newman, 2015) para la gestión y consolidación de la información clínica de los pacientes y no solo lo necesario para la generación de un reporte estándar, sino que también influye en la interoperabilidad y en la estructura de datos con otros sistemas de información médicos (Catley & Frize, 2003; Handayani et al., 2017). Por ello, la jerarquización de la información y sus datos deberán ser contemplados como un todo que fluye hacia la organización y sin sesgos entre departamentos de la organización, con el objetivo de apoyar a la toma de decisiones con indicadores parametrizados, consistentes y veraces de los datos recopilados.

Por tanto, basándonos en diversas investigaciones (Cho & Chan, 2015; Mousa, Bentahar, & Alam, 2019; Oliveira, Martins, Sarker, Thomas, & Popovič, 2019; Sharma, Kumar, & Agarwal, 2015), se identificó que el modelo SaaS posee una serie de características, en comparación con los modelos IaaS, PaaS y XaaS, que lo hacen particularmente interesante para el contexto *eHealth*: (I) bajo costo de implementación; (II) mejora la escalabilidad y accesibilidad, así como la facilidad de administración y la eficiencia operativa en comparación con los sistemas monolíticos (Abdullah et al., 2019); (III) los usuarios finales ejecutan sus aplicaciones sin tener ningún control sobre el entorno host (Elsayed & Zulkernine, 2019; Stavrinides & Karatza, 2019); (IV) cada usuario tiene una instancia independiente de un servicio SaaS, ya que se encuentra virtualizados y heterogéneos '*Docker Host*' (El Kafhali & Salah, 2018); (V) mejora la interoperabilidad y la integración a través de un conjunto de servicios web para proporcionar funcionalidades personalizadas a los usuarios (Fan, Hussain, Younas, & Hussain, 2015).

Dentro de este marco, se desarrolla e implementa el uso de microservicios en dos proyectos de investigación enfocado al contexto de eHealth (Clínica Universitaria y SPIDEP) que se describen en los siguientes sub-secciones.

3.1. Clínica Universitaria de la Universidad Tecnológica de Panamá

Entre 2015 y 2017, se desarrolló el proyecto Clínica Universitaria, el cual se basa en las estrategias y en el plan de acción sobre *eHealth* (Organización Panamericana de la Salud, 2011), con el propósito de mejorar la calidad de atención de los profesionales de la salud. Para este estudio, se propuso desarrollar un plan estructurado y semántico en beneficio del bienestar y la salud de toda la comunidad académica de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), campus central, siete centros regionales y dos extensiones universitarias. Con el objeto de registrar las afecciones más comunes que aquejan a los distintos estamentos (estudiantes, docentes, investigadores y administrativos) de la institución y generar indicadores a partir de los datos generados mediante el formato CIE-10.

Como complemento, se decidió que el mejor método para el diseño centrado en el usuario (DCU) de la clínica universitaria, sería la metodología 'Persona' de Alan Cooper (Cooper & Reimann, 2004). Esta técnica se llevó a cabo bajo los modelos usuario y dominio: el primer modelo se enfoca en cómo el usuario final (profesionales de la salud) interactúa con el sistema para lograr sus tareas, características y metas. Además, obtener un diseño usable y escalable de los servicios; el segundo modelo se orienta a optimizar los diferentes procesos involucrados con el usuario con aplicaciones de terceros.

Como seguimiento de esta actividad, se desarrolló un diseño de una arquitectura de software (3 capas), aplicado a la clínica universitaria bajo una versión 'candidata a definitiva (RC)'. En la figura 1 muestra cómo interactúan las capas y sus componentes.

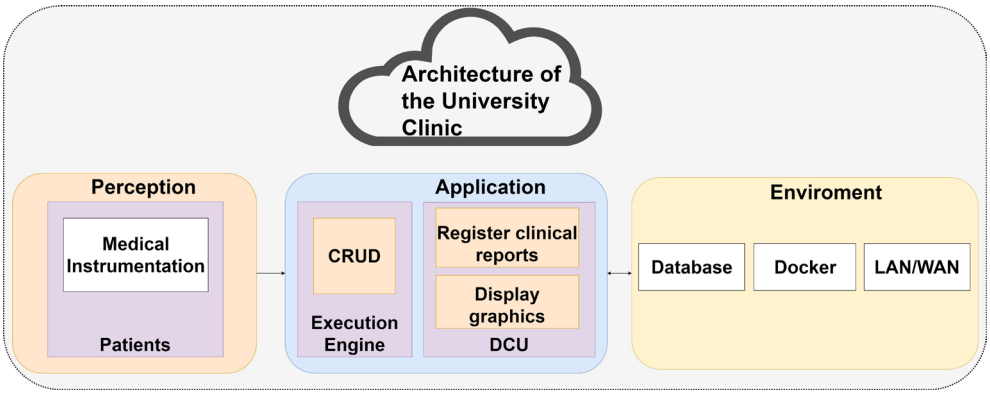


Figura 1 – Diseño de una arquitectura de software de tres capas, aplicado a la clínica universitaria UTP

En tal sentido, se debe tener presente que la arquitectura de capas variaría dependiendo de los requisitos funcionales y no funcionales de los usuarios. En consecuencia, existen diferentes investigaciones que han propuesto distintos niveles de capas dentro de la arquitectura (Kumar & Mallick, 2018; Saadeh, Sleit, Sabri, & Almobaideen, 2018; Sharma et al., 2015). A continuación, se ofrece una descripción general de nuestro esquema modificado de la arquitectura de tres capas, enfocado al desarrollo de aplicaciones intrauniversitario o intraorganizacional:

- Percepción (Perception): Esta primera capa permite la recopilación global de los datos médicos de los pacientes de la UTP. Dichos datos son recolectados por los profesionales de salud mediante el uso de instrumentos médicos como básculas, glucómetros, esfigmomanómetros (Kumar & Mallick, 2018).
- Aplicación (Application): Esta segunda capa administra los dos grupos de microservicios exclusivos para los profesionales de la salud y los administradores de cada región universitaria con sus respectivos privilegios en la nube, con el objetivo de permitir el acceso a distintas funcionalidades como visualizar la historia clínica del paciente, incorporar nuevos datos registrados, gestionar el personal médicos y sus roles; es decir, su característica principal es ofrecer un conjunto de microservicios específicos, según el tipo de aplicación para el usuario final (Ciavotta, Alge, Menato, Rovere, & Pedrazzoli, 2017; Kiss et al., 2019).
- Entorno (Environment): Esta tercera capa soporta el almacenamiento y control de los datos a través de las bases de datos distribuidas. Además, esta capa gestiona la intercomunicación de los datos entre los dos grupos de microservicios (capa de aplicación) y los instrumentos médicos de las diferentes regiones universitarias (capa de percepción), mediante el uso de la red LAN/WAN (Saadeh et al., 2018).

3.2. Diseño e implementación de un sistema inteligente de bajo coste para el prediagnótico y la teleasistencia de enfermedades infecciosas en personas de edad avanzada (SPIDEP)

Se propone un modelo SaaS para apoyar en el diagnóstico de enfermedades infecciosas de pacientes (adultos mayores) en residencias médicas (centros médicos de Santo Domingo,

en la República Dominicana, y de las residencias de la Consejería de Políticas Sociales-Familia de la Comunidad de Madrid, España), mediante el uso de registros de parámetros clínicos definidos (tensión arterial, frecuencia de pulso, temperatura corporal, y entre otros), obtenidos a través de sensores biométricos no invasivo (Fiedler, 2017). Se hace especial énfasis en el diseño, desarrollo, implementación e interoperabilidad de una plataforma de bajo coste, capaz de soportar la comunicación del servicio generalizado con el entorno de la nube central. Asimismo, se incluirá un subsistema de aprendizaje automático para mejorar el soporte de decisiones para la prevención, el tratamiento y el manejo de enfermedades infecciosas. Sobre la validez de la experiencia de usuario (UX), fue aprobado por el personal de salud en conjunto con los investigadores del consorcio internacional mediante el uso de *mock-up* (Alharbi, Atkins, & Stanier, 2017; Leung & Chen, 2019). Por otro lado, el funcionamiento técnico de la nube cumple con los estándares establecidos a través de las diferentes pruebas de *softwares*.

Aunado a lo anterior, se ha llevado a cabo una propuesta preliminar de la arquitectura de *software* (5 capas), aplicado a SPIDEP bajo una versión 'Beta'. En la figura 2 muestra cómo interactúan las capas y sus componentes.

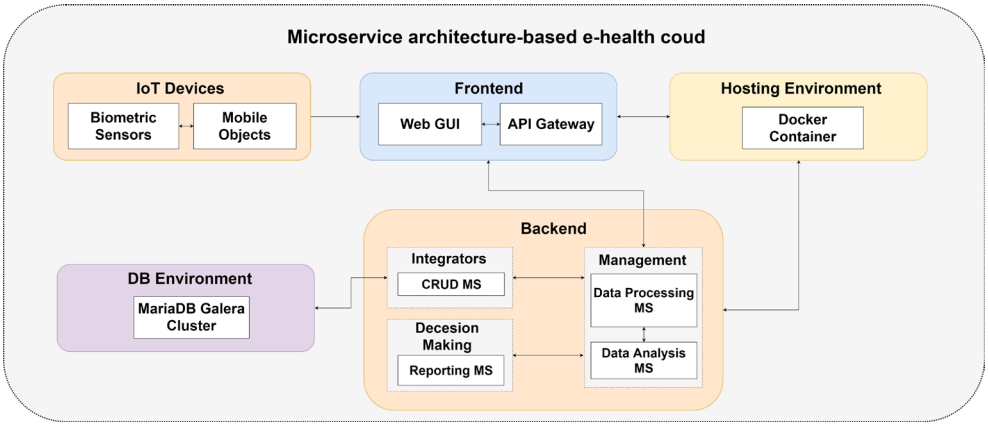


Figura 2 – Diseño de una arquitectura de software de cincos capas, aplicado a SPIDEP

De esta manera, se ofrece una descripción general de nuestro esquema modificado de la arquitectura de cincos capas, enfocado al desarrollo de aplicaciones interuniversitarias o interorganizacionales:

- Dispositivos IoT (*IoT Devices*): Esta primera capa permite una interacción entre la capa Frontend y la capa Backend por medio de elementos sensores biométricos WBAN no invasivos (Raković & Lutovac, 2015), para la comprobación de los parámetros clínicos de los pacientes (tensión arterial, frecuencia de pulso, temperatura corporal y entre otros), que son obtenidos a través de un dispositivo móvil.
- *Frontend*: Esta segunda capa muestra la información sobre el estado de los pacientes, bioseñales relacionadas y el contenido de los datos obtenidos de la capa de dispositivos IoT mediante una interfaz *web* (GUI). Además, esta capa

emplea el uso de API *Gateway* (Dinh, Lee, Niyato, & Wang, 2013), para la intercomunicación con la capa de *Backend*.

- *Backend*: Esta tercera capa gestiona a nivel lógico todos los grupos de microservicios creados para los profesionales de la salud, los administradores de cada residencia y los colaboradores del proyecto SPIDEP con sus respectivos privilegios en la nube, para permitir acceder a las distintas funcionalidades, como visualizar la historia clínica del paciente; recuperar, modificar y cargar los datos médicos; gestionar roles y usuarios; permitir el uso de un sistema de prediagnóstico para recomendar directrices a seguir por parte del sistema de inferencia (Toma de Decisiones) y, entre otros microservicios (Abdullah et al., 2019).
- Entorno de Base de datos (DB Environment): Esta cuarta capa administra el almacenamiento y control de los datos a través de las bases de datos distribuidas. Además, permite el acceso de los clientes en la nube mediante el uso de consultas predefinidas (Furda, Fidge, Barros, & Zimmermann, 2017).
- Entorno del *Host* (*Hosting Environment*): Esta quinta capa soporta la disponibilidad y seguridad de datos con sus respectivos componentes entre las capas superiores; es decir, incorpora los servicios de infraestructura virtuales (VPS) mediante el uso de nube pública, privada, comunitaria o híbrida bajo GNU/Linux (Subashini & Kavitha, 2011).

4. Resultados Arquitectura Microservicios

A partir del análisis de la propuesta aplicada, surge la necesidad de evaluar la eficiencia de las arquitecturas de *softwre* (3 y 5 capas) propuestas para ambos proyectos de investigación. Por ello, utilizamos las pruebas de rendimiento y estrés para obtener valores cuantitativos para medir el rendimiento general de la aplicación y su interacción con los usuarios finales (Lonetti & Marchetti, 2018). Para tal efecto, fue necesario utilizar un entorno de pruebas controladas a través del uso de VPS (1 vCPUs, 4 GB Memoria, 80 GB Disco, *Docker* con *Ubuntu Server* 16.04 LTS), con el propósito de generar una carga de trabajo que aumenta con el tiempo emulando un número específico de sesiones de usuarios concurrentes (30 usuarios virtuales) acordes a las especificaciones de los VPS y, posteriormente, validar dichos resultados con un criterio de aceptación. Otra tarea prioritaria, es el desarrollo de *scripts* en Apache JMeter, para medir la carga de usuarios virtuales y su comportamiento en el rendimiento de los microservicios, en conjunto con el uso de servidores de *BlazeMeter* (US West - Oregon, USA - Google) (Abdullah et al., 2019; Khan & Amjad, 2016).

Dichas pruebas generan una carga de trabajo que comienza con accesar al inicio de la sesión y desplegar la data médica de los pacientes, correspondiente a la afiliación del usuario final, debido a que ambos casos (Clínica Universitaria y SPIDEP) comparten esta característica. El propósito de estas pruebas es generar varias solicitudes por segundo y que, a su vez, aumenta después de cada minuto de manera progresiva (20 minutos), con una tasa promedio de 15≈20 solicitudes por segundo. La tabla 1 muestra los datos experimentales sobre la implementación de los microservicios para ambos casos.

El reporte contiene varios valores importantes divididos en dos casos (totalidad de los microservicios ejecutados): cantidad de la muestra, tiempo de respuesta promedio, número de solicitudes que se procesan por segundo, percentil 90, porcentajes de solicitudes fallidas, cantidad de usuarios interactuando en las pruebas.

Caso	Muestras	Tiempo Respuesta (ms)	Media. Hits/s	90% línea (ms)	Porciento Errores	Usuario virtual (concurrencia)
CU-UTP	25985	693.2	22.02	867	0%	30
SPIDEP	17868	1007.69	15.14	1239	0%	30

Tabla 1 – Resultados de las pruebas de rendimiento en los casos de clínica universitaria (CU-UTP) y SPIDEP

También se realizaron varias pruebas preliminares para llevar a cabo simulaciones, análisis de los resultados de las ejecuciones y depuraciones de los microservicios que son agregados para crear el sistema principal (*eHealth Cloud)*, cuya función es exponer los problemas que pueden surgir en esta etapa de integración de los grupos de microservicios (Abdullah et al., 2019). Sin embargo, los microservicios son aceptables cuando se prueban individualmente en forma aislada. De hecho, podría resultar en un comportamiento incoherente o erróneo cuando se combinan con el fin de construir el conjunto. Por ende, se tomó como referencia el caso CU-UTP para aplicar esta prueba, ya que SPIDEP aún se encuentra en desarrollo Beta. Se procedió a deshabilitar el uso del microservicio de visualización de gráficas (VG-MS) del grupo DCU, pero sin afectar al microservicio enfocado al registro de los reportes clínicos (RRC-MS). El objetivo fue verificar el rendimiento y la integración de VG-MS con una aplicación de tercero (R - JSON Files), para analizar los datos sin depender de la capa de aplicación. Los resultados obtenidos en un análisis preliminar de VG-MS se muestran en la figura 3.

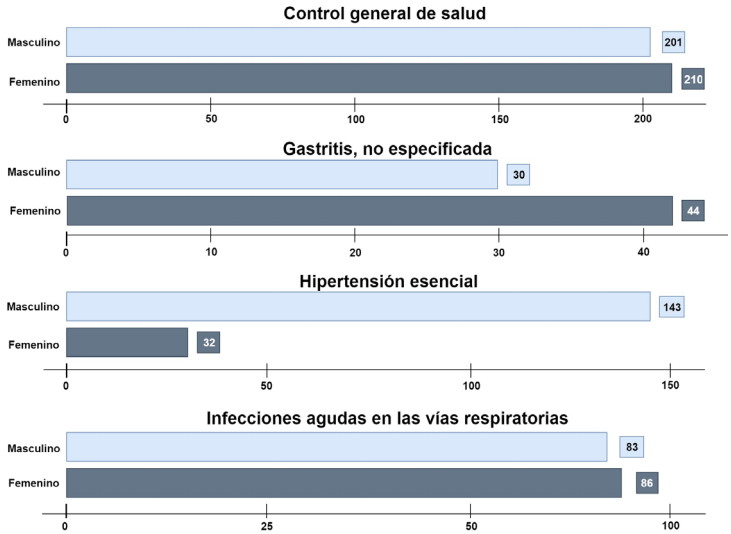


Figura 3 – Ejecución exitosa de las pruebas de integración en la extracción de los datos (2016-2017) a través VG-MS y R. La subgráfica superior representa el principal motivo de las visitas de los pacientes a la clínica universitaria (atención preventiva), y el resto de las subgráficas se basa en las visitas de los pacientes por motivo de enfermedades más frecuentes (tres principales), aplicado a CU-UTP

5. Discusión

Este estudio se propuso con el objetivo de evaluar el rendimiento y el análisis de los microservicios aplicados en arquitecturas de software modificados para tres y cinco capas, dentro del contexto eHealth, por lo que hemos identificado las principales tareas adoptadas para el diseño y el uso de las propuestas para llevar a cabo esta actividad.

Hay varios hallazgos significativos de este estudio: en el primero es importante considerar los criterios de aceptación (CA), como el tiempo de respuesta promedio y percentil 90 (CA-1) y su relación con el porcentaje de solicitudes fallidas (CA-2), con el propósito de validar el rendimiento de los microservicios. Por lo que, mediante el empleo de diversas investigaciones (Khan & Amjad, 2016; Ramakrishnan & Kaur, 2019), se estableció que el límite aceptable para CA-1 es de 5000 ms y el límite aceptable para CA-2 es de 5%. A partir de los límites establecidos para cada salida de las pruebas superior a estos límites, se considera como un rendimiento no aceptable. Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la tabla 1, podemos establecer que las pruebas con 30 usuarios son aceptables, ya que ambos casos cumplen con los dos criterios establecidos. Basándonos en estos resultados, hemos observado que los microservicios implementados sin supervisión (Abdullah et al., 2019) o que no consideran los puntos débiles de esta tecnología (Götz et al., 2018; Ma, Fan, Chuang, Liu, & Lan, 2019), pueden comprometer el rendimiento global del sistema e incluso tener un rendimiento peor que una arquitectura monolítica.

En cuanto al segundo hallazgo, es importante tener en cuenta que nuestra arquitectura de software de tres capas está orientada al desarrollo de CIS intrauniversitario o intraorganizacional que no requieran una gran capacidad de recursos informáticos para su ejecución, mientras que la arquitectura de cincos capas, está orientada a CIS interuniversitario o interorganizacional. Del tercer hallazgo se obtiene una muestra de 829 pacientes (457 hombres y 372 mujeres) atendidos durante los años 2016-2017 de una población de 1452 pacientes (716 mujeres y 736 hombres) del sistema CU-UTP. Cabe señalar que estos datos fueron delimitados a un intervalo de tiempo debido a que los del 2018 fueron recopilados hasta los seis primeros meses, y así evitar un sesgo en el análisis. Lo interesante de estos datos es que nos permiten estudiar distintas categorías (género, edad, región o estamentos) en diferentes periodos (diario, mensual o anual). Como seguimiento de este estudio, en conjunto con los profesionales de la salud, se determinó un punto de referencia para el análisis de las afecciones que más aquejan a los pacientes. Como se observa en la figura 5, existe un alto índice de asistencia de los pacientes para rutina de control general en vez de un tratamiento de alguna afección (gastritis, hipertensión esencial u otra). En general, estos resultados indican que los pacientes tienen la tendencia a practicar la medicina preventiva, la cual se ha mantenido en los últimos años; sin embargo, una dificultad a la que nos hemos enfrentado en este análisis es que no se tomaron en cuenta otros factores externos o antecedentes familiares para determinar las causas de las afecciones.

6. Conclusiones y trabajos futuros

Con el desarrollo del presente estudio se logró completar el objetivo propuesto: obtener dos arquitecturas de software en capas estables y modificables, según las necesidades del entorno de las organizaciones, centradas al escalado ágil de los microservicios que se utilizan en gran medida al replicarlos en varios contenedores sin infrautilizar los recursos

informáticos. De igual manera, esta propuesta da cabida a futuras investigaciones para el diseño de sus propias capas o variantes de esta arquitectura, con el propósito de lograr una mayor eficiencia en la organización y atención de los pacientes. Como trabajos futuros, se tiene contemplada la posibilidad de optimizar aún más el rendimiento de CU-UTP y SPIDEP al implementar los microservicios en otros paradigmas de programación y realizar comparaciones o de extender la arquitectura diseñada en otras capas.

Agradecimiento

Este trabajo forma parte del proyecto AC16 / 00061 "Diseño e implementación de un sistema inteligente de bajo costo para pre-diagnóstico y teleasistencia de enfermedades infecciosas en personas mayores (SPIDEP)" financiado con recursos del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España, de la Fundación para la Investigación Biomédica del Hospital Universitario Príncipe de Asturias (FUHUPA), la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT), a través del Sistema Nacional de Investigación (SNI), y dentro de la 2ª Convocatoria Conjunta de Investigación e Innovación ERANet-LAC del Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo de Tecnología (FP7) de la Unión Europea bajo el contrato ELAC2015 /T09-0819 SPIDEP.

Contribución de los Autores

Conceptualización, J.G., J.C. y J.S..; metodología, A.G., J.G., J.C. y J.S.; software, H.C. y M.V.; validación H.C. F.N. y M.V.; análisis formal, A.G., H.C., J.G. y M.V.; investigación, A.G., H.C., J.G., J.C., M.V., M.P., G.S. y J.S.; recursos, J.G., M.V., M.P., G.S. y J.S.; datos clínicos , M.P y G.S.; escritura—original M.V. y H.C.; escritura—revisión y edición, A.G., H.C., J.G., J.C., M.V. y J.P.; visualización, A.G., y H.C.; supervisión, J.G., M.V. y J.S.; administración de proyectos, J.G.; autor de correspondencia MV, Administración de fondos, J.G. y J.S.

Referencias

Abdullah, M., Iqbal, W., & Erradi, A. (2019). Unsupervised learning approach for web application auto-decomposition into microservices. *Journal of Systems and Software*, 151, 243–257. https://doi.org/10.1016/J.JSS.2019.02.031

Alharbi, F., Atkins, A., & Stanier, C. (2017). Cloud computing adoption in healthcare organisations: a qualitative study in Saudi Arabia. *Transactions on Large Scale Data and Knowledge-centered Systems, XXXV. Lecture Notes in Computer Science*, 10680, 96-131. Berlín: Springer.

Cooper, A., & Reimann, R. (2004). *About face 2.0: the essentials of interaction design* (2nd ed). Nueva York, NY: Wiley & Sons.

Catley, C., & Frize, M. (2003). Design of a health care architecture for medical data interoperability and application integration, *Proceedings of the Second Joint 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society*, USA (1952–1953). https://doi.org/10.1109/iembs.2002.1053111

Cho, V., & Chan, A. (2015). An integrative framework of comparing SaaS adoption for core and non-core business operations: An empirical study on Hong Kong industries. *Information Systems Frontiers*, *17*(3), 629–644. https://doi.org/10.1007/s10796-013-9450-9

Ciavotta, M., Alge, M., Menato, S., Rovere, D., & Pedrazzoli, P. (2017). A microservice-based middleware for the digital factory. *Procedia Manufacturing*, *11*, 931–938. https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.07.197

Di Francesco, P., Lago, P., & Malavolta, I. (2019). Architecting with microservices: a systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, *150*, 77–97. https://doi.org/10.1016/J.JSS.2019.01.001

Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D., & Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless Communications and Mobile Computing*, *13*(18), 1587–1611. https://doi.org/10.1002/wcm.1203

El Kafhali, S., & Salah, K. (2018). Performance analysis of multi-core VMs hosting cloud SaaS applications. *Computer Standards & Interfaces*, *55*, 126–135. https://doi.org/10.1016/J.CSI.2017.07.001

Elsayed, M., & Zulkernine, M. (2019). Offering security diagnosis as a service for cloud SaaS applications. *Journal of Information Security and Applications*, *44*, 32–48. https://doi.org/10.1016/J.JISA.2018.11.006

Esposito, C., Castiglione, A., Tudorica, C., & Pop, F. (2017). Security and privacy for cloud-based data management in the health network service chain: a microservice approach. *IEEE Communications Magazine*, *55*(9), 102–108. https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1700089

Fan, H., Hussain, F. K., Younas, M., & Hussain, O. K. (2015). An integrated personalization framework for SaaS-based cloud services. *Future Generation Computer Systems*, *53*, 157–173. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2015.05.011

Fiedler, B. A. (2017). Challenges of new technology: securing medical devices and their software for HIPPA compliance. *Managing Medical Devices Within a Regulatory Framework*, 315–329. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804179-6.00018-6

Furda, A., Fidge, C., Barros, A., & Zimmermann, O. (2017). Reengineering data-centric information systems for the cloud – a method and architectural patterns promoting multitenancy. *Software Architecture for Big Data and the Cloud*, 227–251. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805467-3.00013-2

Gholap, J., Janeja, V. P., & Yesha, Y. (2015). Unified framework for clinical data analytics (U-CDA). *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Big Data, IEEE Big Data 2015*, 2939–2941. https://doi.org/10.1109/BigData.2015.7364129

Götz, B., Schel, D., Bauer, D., Henkel, C., Einberger, P., & Bauernhansl, T. (2018). Challenges of production microservices. *Procedia CIRP*, *67*, 167–172. https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2017.12.194

Handayani, P. W., Hidayanto, A. N., Pinem, A. A., Hapsari, I. C., Sandhyaduhita, P. I., & Budi, I. (2017). Acceptance model of a hospital information system. *International Journal of Medical Informatics*, *99*, 11–28. https://doi.org/10.1016/J.IJMEDINF.2016.12.004

Jita, H., & Pieterse, V. (2019). A Framework to apply the internet of things for medical care in a home environment, 45–54. https://doi.org/10.1145/3291064.3291065

Khan, R., & Amjad, M. (2016). Performance testing (load) of web applications based on test case management. *Perspectives in Science*, *8*, 355–357. https://doi.org/10.1016/J.PISC.2016.04.073

Kiss, T., Kacsuk, P., Kovacs, J., Rakoczi, B., Hajnal, A., Farkas, A., ... Terstyanszky, G. (2019). MiCADO—Microservice-based cloud application-level dynamic orchestrator. *Future Generation Computer Systems*, *94*, 937–946. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2017.09.050

Krämer, M., Frese, S., & Kuijper, A. (2019). Implementing secure applications in smart city clouds using microservices. *Future Generation Computer Systems*, *99*, 308–320. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2019.04.042

Kumar, N. M., & Mallick, P. K. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia Computer Science*, *132*, 109–117. https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2018.05.170

Leung, L., & Chen, C. (2019). E-health/m-health adoption and lifestyle improvements: Exploring the roles of technology readiness, the expectation-confirmation model, and health-related information activities. *Telecommunications Policy*, *43*(6), 563–575. https://doi.org/10.1016/J.TELPOL.2019.01.005

Li, S., Zhang, H., Jia, Z., Li, Z., Zhang, C., Li, J., & Gao, Q. (2019). A dataflow-driven approach to identifying microservices from monolithic applications. *Journal of Systems and Software*. https://doi.org/10.1016/J.JSS.2019.07.008

Lonetti, F., & Marchetti, E. (2018). Emerging software testing technologies. *Advances in Computers*, *108*, 91–143. https://doi.org/10.1016/BS.ADCOM.2017.11.003

Ma, S.-P., Fan, C.-Y., Chuang, Y., Liu, I.-H., & Lan, C.-W. (2019). Graph-based and scenario-driven microservice analysis, retrieval, and testing. *Future Generation Computer Systems*, *100*, 724–735. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2019.05.048

Mousa, A., Bentahar, J., & Alam, O. (2019). Context-aware composite SaaS using feature model. *Future Generation Computer Systems*. https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2019.04.032

Newman, S. (2015). *Building microservices: designing fine-grained systems*. O'Reilly Media, Inc.

Oliveira, T., Martins, R., Sarker, S., Thomas, M., & Popovič, A. (2019). Understanding SaaS adoption: The moderating impact of the environment context. *International Journal of Information Management*, *49*, 1–12. https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2019.02.009

Organización Mundial de la Salud. (2019). Acerca de los sistemas de salud. Retrieved from https://www.who.int/healthsystems/about/es/

Organización Panamericana de la Salud. (2011). Estrategia y plan de acción sobre eSalud (2012-2017). *51.º Consejo Directivo de La OPS, 63.ª Sesión Del Comité Regional de La OMS Para Las Américas; Del 26 Al 30 de Septiembre Del 2011 (Documento CD51/13)*, *28*(2005), 25.

Raković, P., & Lutovac, B. (2015). A cloud computing architecture with wireless body area network for professional athletes health monitoring in sports organizations-Case study of Montenegro. *Proceedings - 2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2015 - Including ECyPS 2015, BioEMIS 2015, BioICT 2015, MECO-Student Challenge 2015*, 387–390. https://doi.org/10.1109/MECO.2015.7181950

Ramakrishnan, R., & Kaur, A. (2019). Little's law based validation framework for load testing. *Information and Software Technology*, *108*, 88–98. https://doi.org/10.1016/J.INFSOF.2018.11.007

Saadeh, M., Sleit, A., Sabri, K. E., & Almobaideen, W. (2018). Hierarchical architecture and protocol for mobile object authentication in the context of IoT smart cities. *Journal of Network and Computer Applications*, *121*, 1–19. https://doi.org/10.1016/J.JNCA.2018.07.009

Sharma, A., Kumar, M., & Agarwal, S. (2015). A complete survey on software architectural styles and patterns. *Procedia Computer Science*, *70*, 16–28. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.10.019

Stavrinides, G. L., & Karatza, H. D. (2019). Performance evaluation of a SaaS cloud under different levels of workload computational demand variability and tardiness bounds. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *91*, 1–12. https://doi.org/10.1016/J.SIMPAT.2018.11.006

Subashini, S., & Kavitha, V. (2011). A survey on security issues in service delivery models of cloud computing. *Journal of Network and Computer Applications*, *34*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/J.JNCA.2010.07.006

Vilaplana, J., Solsona, F. F., Abella, Filgueira, R., & Rius, J. (2013). The cloud paradigm applied to e-Health. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, *13*(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/1472-6947-13-35

Yogesh, S., Pushkara, R., Shilpa, C., Malati, H., & Rashmi, B. (2018). Towards a data-driven IoT software architecture for smart city utilities. *Software: Practice and Experience*, *48*(7), 1390–1416. https://doi.org/10.1002/spe.2580

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 05/06/2019
Aceitação/Acceptance: 19/09/2019

Proyecto caprino de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña: Caso de aplicación de tecnología

Jesús Trillos-Arenas[1], Daniel Antonio Hernández-Villamizar[2], Edwin Barrientos-Avendaño[1], Dewar Rico-Bautista[1], Luis Coronel-Rojas[1], Fabian Cuesta-Quintero[1]

{jetrillosa, dahernandezv, ebarrientosa, dwricob, lacoronelr, fcuestaq}@ufpso.edu.co

[1] Grupo de ingeniería en innovación, tecnología y emprendimiento (GRIITEM). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña, Colombia.

[2] Zootecnista. Especialista en Gestión de proyectos Informáticos. Magister en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación agropecuaria ambiental y desarrollo sostenible (GI@DS). Facultad Ciencias Agrarias y del Ambiente. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Pages: 94–106

Resumen: El objetivo principal del artículo es mostrar la aplicación móvil generada para la gestión de procesos del proyecto caprino. Su función es dar soporte a la optimización de producción de leche y alimentación de las cabras en la granja experimental de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Las características de esta aplicación permitieron una notable mejora. Se logró un mayor control de la información y un enfoque más claro sobre qué tan productiva ha sido cada cabra. Como resultado, se agilizaron las consultas, reportes, trazabilidad e identificación de procedimientos e intervenciones sanitarias a cada una las cabras.

Palabras-clave: Granja inteligente; APP; Caprinos; Tecnología; Universidad inteligente.

Management of Caprine Animals in the University Francisco de Paula Santander Ocaña: Case of application of technology

Abstract: The main objective of the article is to show the results of the development of a mobile application generated for the management of the goat project. Its function is to support the optimization of milk production and goat feeding in the experimental farm of the university Francisco de Paula Santander Ocaña. The characteristics of the application allowed a notable improvement. Greater control of information and a clearer focus on how productive each goat has been were achieved. As a result, the queries, reports, traceability and identification of procedures and health interventions to each goat were speeded up.

Keywords*:* Smart Farm; APP; Goats; Technology; Smart University.

1. Introducción

La Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPS Ocaña) es el principal claustro universitario de la región del Catatumbo, Norte de Santander, Colombia. Se ofrecen múltiples programas académicos enfocados a desarrollar el sector productivo de la región. La universidad posee una granja agrícola, pecuaria y ambiental donde los estudiantes de zootecnia e ingeniería ambiental realizan prácticas en laboratorios de aves, cerdos, conejos, bovinos, entre otros. El Proyecto Caprino de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, nace en el año 2011 con 20 animales de la raza Santandereana (10 hembras y 10 machos) como un trabajo de investigación que se plantea el docente MSc. Daniel Antonio Hernández Villamizar, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de la raza Santandereana en un sistema estabulado y medir la ganancia de peso tanto en hembras como machos.

Los resultados fueron interesantes ya que el comportamiento fue normal y las ganancias de peso fueron de 60 y 68 gramos por día, para hembras y machos respectivamente. Posteriormente se trajeron animales puros de Antioquia, Quindío, Santander y Cundinamarca de los Rozos Saanen, Anglonubiana, Alpina y Toggenburg, se ha participado desde el 2011 en las ferias de Bucaramanga tanto en la Agroferia (Abril) como en las ferias de septiembre que organiza la Asociación de Capricultores y Ovinocultores de Santander CAPRISAN.

La U.F.P.S.O es miembro activo de CAPRISAN, ASOCRIAS (Asociación Colombiana de Criadores de Cabra Santandereana) y ANCO (Federación Nacional de Capricultores y Ovinocultores de Colombia). En la actualidad el proyecto cuenta con 95 ejemplares de las razas Saanen, Alpina, Anglonubiana, Toggembur, Canario y Santandereana de los cuales se encuentran animales puros y cruces entre ellos.

El proyecto Caprino tiene como objetivo fundamental la academia, la extensión, la investigación y la producción de leche y sus derivados, los cuales estos últimos son elaborados en el laboratorio de cárnicos y lácteos de nuestra U.F.P.S.O, en la actualidad se procesan como chorizos de hamburguesa y jamón con la carne del Caprino y con la leche se elabora arequipe, cortados, caramelos, yogurt, queso, kéfir, helados y sabajón.

La tecnología se convierte en un elemento fundamental de la universidades, sin la cual no se podría llevar a cabo ninguna de sus funciones esenciales (Gómez, Jimenez, Gumbau, & Llorens, 2017). Para mejorar la gestión de sus recursos las universidades diseñan su direccionamiento estratégico en función de unas necesidades propias, pero no se tienen en cuenta los requerimientos de orden nacional que demandan su innovación y competitividad en áreas como la infraestructura tecnológica. Sus planes de desarrollo consideran la tecnología como soporte, pero no como una necesidad estratégica para su funcionamiento. Se delega su implementación para suplir necesidades específicas de software y hardware, pero no se evalúa la capacidad actual para aportar a los objetivos estratégicos de las universidades.

Al ser el pilar básico del desarrollo de las comunidades del futuro les permiten dotar de inteligencia a todos sus ámbitos y generar servicios que proporcionen una mejora calidad de vida a los ciudadanos y una mayor sostenibilidad a las ciudades y universidades (Maciá, 2017). Sin embargo, no convendría concebirla sólo como un elemento táctico,

no deberían planificarse de manera aislada, sino que tendrían que formar parte de la planificación global de la universidad (Fernández Martínez & Llorens Largo, 2016). Se proyecta desarrollar infraestructuras bajo el protocoloIPV6(Dewar. Rico-Bautista, Medina-Cárdenas, & Santos Jaimes, 2008; Santos & Rico-Bautista, 2007),que permitan implementar dispositivos IoT generando dentro de la universidad entornos inteligentes de forma segura logrando integrarlas a la red actual de la universidad, buscando la interoperabilidad de los dos protocolos IPV4 e IPV6(Alvernia Acevedo & Rico Bautista, 2017; Lobo & Rico-Bautista, 2012; Dewar. Rico-Bautista, Medina-Cárdenas, & Rojas-Osorio, 2016), y dando soporte a todos los procesos de seguridad bajo el esquema de redes definidas por software.

El artículo se presenta en cuatro (4) partes que son: (i) Conceptualización, (ii) Metodología, (iii) Resultados hasta el momento y (iv) Conclusiones acerca del objeto de estudio.

2. Conceptualización

2.1. Modelo universidad inteligente: Eje *Smart environment*.

Es de vital importancia que cualquier universidad pueda y deba constituir, un punto de encuentro entre los distintos agentes económicos públicos y privados, propiciando un entorno donde las empresas(Arévalo-Ascanio, Bayona-Trillos, & Rico-Bautista, 2015), puedan debatir sobre distintas opciones, recibir apoyo científico y participar en proyectos novedosos. La visión de Internet de las Cosas (IoT) prevé un futuro Internet que incorpore objetos físicos que ofrecen funcionalidad alojada como servicios IoT. Para facilitar el acceso sin fisuras y la gestión del ciclo de vida útil de los recursos IoT distribuidos y heterogéneos, la informática orientada al servicio y los enfoques orientados a los recursos han sido ampliamente utilizados como tecnologías prometedoras. Sin embargo, una arquitectura de referencia que integra los servicios de IoT en cualquiera de estas dos tecnologías sigue siendo un desafío de investigación abierto (Dar, Taherkordi, Baraki, Eliassen, & Geihs, 2015)

Internet de las cosas o IoT (Internet of Things), se refiere a la conexión de objetos tecnológicos o que sean electrónicos a Internet, este concepto se deriva del avance de la tecnología y a la necesidad de compartir y controlar las cosas que nos rodean, incluyendo las necesidades de árboles y plantas (Li, Xu, & Zhao, 2015), (Luvisi & Lorenzini, 2014). Algunos de los campos en los que IoT se presenta fuertemente son: la adopción generalizada de redes basadas en el protocolo IP (Airehrour, Gutierrez, & Ray, 2016), la economía en la capacidad de cómputo, la miniaturización, los avances en el análisis de datos (Danieletto, Bui, & Zorzi, 2013) y el surgimiento de la computación en la nube, salud, herramientas de aprendizaje, seguridad (Flauzac, Gonzalez, & Nolot, 2015), optimización de procesos (Aziz, 2016), agricultura (Stočes, Vaněk, Masner, & Pavlík, 2016), entre otros. El concepto de smart university (Guerrero, Parra-Valencia, & Rico-Bautista, 2017), (D Rico-Bautista, Guerrero, Medina-Cárdenas, & García-Barreto, 2019; Dewar Rico-Bautista, Medina-Cárdenas, & Guerrero, 2019), al igual que el de smart city, está fuertemente anclado al de la potencia de las TI, haciendo especial énfasis en el concepto del “internet de las cosas” (Internet of things) y de las actuales

smart networks, las cuales interconectan sistemas y personas y, además, estimulan la innovación para facilitar un conjunto de objetivos en beneficio de todos(Sánchez-Torres, Rodríguez-Rodríguez, Rico-Bautista, & Guerrero, 2018).

Para lograr todo es necesario apoyarse en el poder de las TI que existen actualmente, ya que su correcto uso será el pilar fundamental para el éxito del proyecto (D Rico-Bautista et al., 2019). La infraestructura actual permite disponer de sistemas digitales conectados de manera global, capaces de soportar aplicaciones, servicios (Y. C. Medina-Cárdenas & Rico-Bautista, 2009; Y. Medina-Cárdenas & Rico-Bautista, 2012; Medina Cárdenas, Areniz Arévalo, & Rico Bautista, 2016; Medina & Rico-Bautista, 2008), plataformas y sensores, todos ellos funcionando en conjunto bajo un ecosistema o marco estandarizado de normas y protocolos capaces de actuar de manera integral y a su vez desacoplada, desempeñando un papel imprescindible en la generación correcta de conocimiento e interconexión. En una universidad más inteligente, las mejores soluciones tecnológicas fomentan la colaboración y la cooperación entre las personas (Coccoli, Guercio, Maresca, & Stanganelli, 2014). Las universidades inteligentes y la educación inteligente están surgiendo y están creciendo rápidamente en áreas que representan una integración de 1) sistemas inteligentes e inteligentes, objetos inteligentes y entornos inteligentes, 2) tecnologías inteligentes, varias ramas de la informática y la ingeniería informática, 3) sistemas, agentes y herramientas de software y/o hardware educativos inteligentes de última generación, y 4) pedagogía innovadora y estrategias de enseñanza y metodologías de aprendizaje basadas en tecnologías avanzadas (Savov, Terzieva, Todorova, & Kademova-Katzarova, 2017), (J. Rueda-Rueda, Manrique, & Cabrera Cruz, 2017).

3. Metodología de la investigación

La investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta. Es por ello que en este proyecto se ha definido utilizar el tipo de investigación descriptiva con el fin de analizar los diferentes formatos físicos utilizados para la administración de los procesos de

Figura 1 – Ciclo de desarrollo de Mobile D. Fuente: (Ramírez R, 2013).

producción de leche y alimentación de las cabras con el objetivo de plantear las interfaces gráficas y las funcionalidades de la aplicación móvil.

Mobile D es la metodología de VTT (Instituto de Investigación finlandés), ver figura 1, para el desarrollo de software ágil, se desarrolló junto con un proyecto finlandés a finales del 2004. Además del desarrollo de software para móviles, es conveniente para los varios contextos, por ejemplo, la seguridad, las finanzas, logística y aplicaciones de simulación de productos. Mobile - D es un enfoque ágil para el desarrollo de aplicaciones móviles que ha sido desarrollado en cooperación con tres compañías de software para móviles. Mobile - D ha sido evaluado con éxito en contra de la certificación CMMI nivel 2, y está continuamente más elaborado y validado en estudios de caso en curso en VTT (Agile, 2016).

4. Resultados

4.1. Infraestructura de comunicación granja

Para proponer la infraestructura de red que sea la más adecuada para la organización de una SmartFarm basada en IoT para la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña e ir generando espacios inteligentes bajo un entorno IPV6 (Carvajal Escobar, Santos Jaimes, & Rico-Bautista, 2013; Lobo & Rico-Bautista, 2012), teniendo en cuenta la interoperabilidad con el protocolo IPv4 y los riesgos de seguridad a los que están expuestos dichos dispositivos, basados en las vulnerabilidades y amenazas presentes para dicha tecnología (Parra, Rico-Bautista, Medina-Cárdenas, & Sanchez-Ortiz, 2019; J. S. Rueda-Rueda, Rico-Bautista, & Florez-Solano, 2019). En la Fig. 1, en el contexto

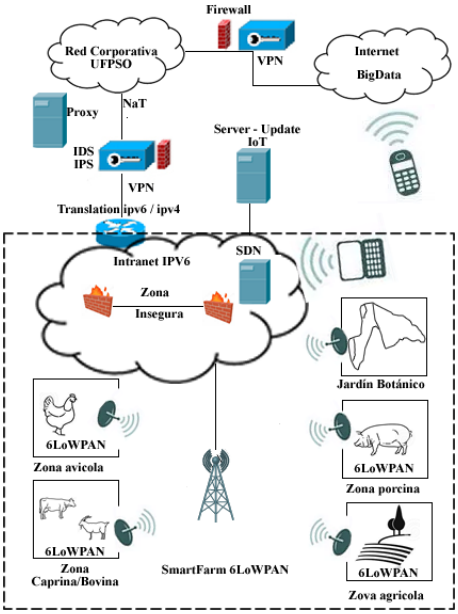


Figura 2 – Infraestructura de comunicación granja inteligente.

de IoT se plantea una Intranet IPV6 (Carvajal Escobar et al., 2013; Jara, Moreno-Sanchez, Skarmeta, Varakliotis, & Kirstein, 2013; Lobo & Rico-Bautista, 2012; Dewar. Rico-Bautista et al., 2016) para soportar todo lo relacionado con la granja inteligente. Se puede observar la propuesta para la organización de la infraestructura de comunicación, donde se muestra una red corporativa actualmente soportando todos los procesos de negocio de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Se ha planteado enrutar todo el tráfico a través de la tecnología SDN y un servidor de actualizaciones que esté monitoreando al exterior sobre posibles actualizaciones por parte de la casa fabricante de los dispositivos IoT, sin exponer directamente los dispositivos a internet con el objetivo de contrarrestar algunas vulnerabilidades presentes en el proceso de descarga de actualizaciones (Barrientos-Avendaño, Rico-Bautista, Coronel-Rojas, & Cuesta-Quintero, 2019). En la intranet se plantean una red privada virtual VPN que permita sacar todo el tráfico IoT hacia la red corporativa después de haber realizado la translación a IPv4, ver figura 2.

Implementación de listas de control de acceso sobre dispositivos virtualizados basados en Mininet el cual es un emulador de red que ejecuta una colección de dispositivos finales, switches, routers y enlaces en un solo core de Linux. Se utiliza la virtualización ligera para hacer que un solo sistema parezca una red completa. Los programas que se ejecutan pueden enviar paquetes a través de lo que parece ser una interfaz de red real, con una velocidad de enlace y con retardo. La relación entre Mininet y las SNDs se establece por su similitud al trabajar con nodos que físicamente no existen, pudiendo en ambos casos definir sus configuraciones por software. Una característica importante de Mininet es que permite emular redes definidas por software con todas sus características. En particular, trabaja con el protocolo Openflow, usado por las SDNs hacia y desde el entorno inalámbrico, lugar donde fluirá toda la información de los dispositivos inteligentes, una central que recepcione la información de las diferentes zonas agrícolas y pecuarias asegurando la información recolectada. Con la información suministrada de los sistemas IoT de la SmartFarm en la nube será sometida a un proceso de BigData(Sun, Song, Jara, & Bie, 2016) para la generación de nuevo conocimiento.

4.2. Prototipos de aplicación infraestructura granja inteligente

La granja inteligente es muy macroproyecto, que abarcará diferentes procesos, propios de una granja, con el ánimo de administrar de manera eficiente los recursos que se dan y que se llevan de manera manual. Unos de los prototipos que se están desarrollando es la aplicación CAPRINAPP, la cual, es una herramienta que permite la toma de decisiones mediante una entrada de datos rápida y un sencillo pero eficaz método para informes. A través de la herramienta se podrán hacer seguimiento individual de las cabras (crecimiento, producción láctea, enfermedades), permite generar reportes que ayuda a la toma de decisiones. El poder permitir realizar estos reportes, implica el poder determinar qué cantidad de comida le corresponde a cada una de las cabras, y por ende se podrá proporcionar la cantidad exacta de alimento para aquella que produzca más leche. Así mismo, el desarrollo de un sistema de geolocalización para bovinos: caso estudio granja UFPSO actualmente en la granja se realiza de manera manual el procedimiento de recoger las vacas para llevarlas hacia los corrales después de haber pastoreado, a veces se pierden algunas de ellas por ser tan grande la granja. A través de la herramienta

se podrá hacer un seguimiento del desplazamiento de cada uno de los bovinos. un valor agregado es que la herramienta suministrará el recorrido de la vaca y a su vez se podrá determinar si esta estresada (más recorrido de lo normal), lo que predice que la vaca está en calor , ver figura 3.

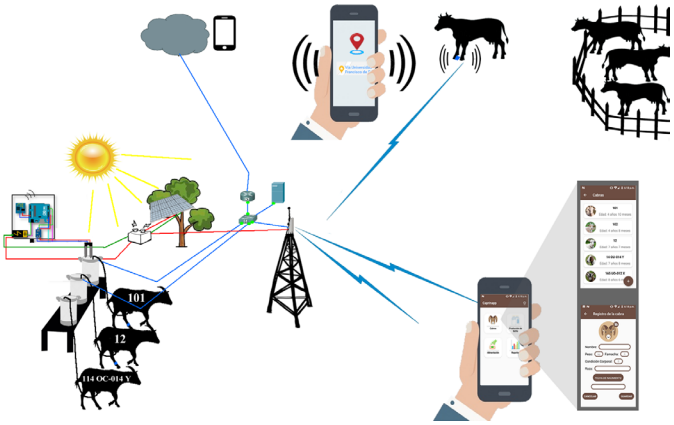


Figura 3 – Prototipos de aplicación granja inteligente.

4.3. Aplicación móvil para la optimización de los procesos

La información ha sido de vital importancia para el sostenimiento de la sociedad, y cada día se busca la mejor forma para almacenar y proteger la información. Con la llegada de nuevas tecnologías, da paso para el cambio de sistemas manuales a sistemas digitales, lo que conlleva a pasar de los anticuados métodos de almacenar información como los archivadores, diarios y libros contables a las bases de datos, agendas electrónicas y sistemas de información digital. Estos sistemas de información ayudan a las personas

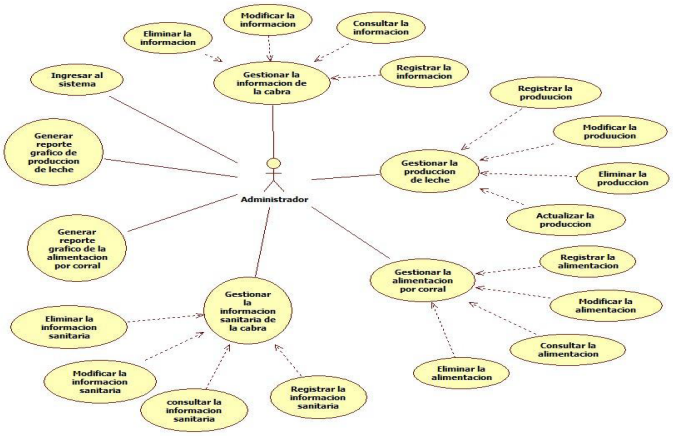


Figura 4 – Casos de uso

a manejar, analizar y mostrar información determinada de una entidad de una forma organizada y en el momento que la requieran, ver figura 4 y 5.

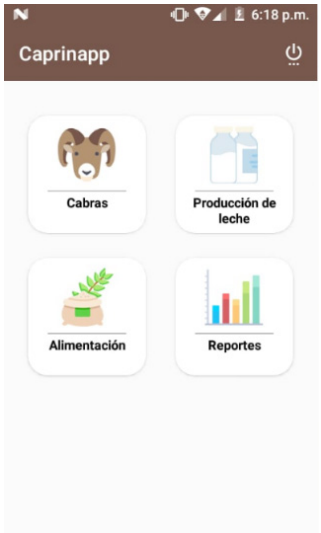


Figura 5 – Menú principal.

Por lo anterior, la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña siendo una institución de educación superior que tiene como objetivos institucionales desarrollar capacidades institucionales promoviendo impactos positivos a la región, el medio ambiente y la comunidad, mediante la creación de alianzas estratégicas, ejecución de proyectos pertinentes, aumento de cobertura en actividades de extensión y el compromiso con la responsabilidad social; todos estos objetivos son desarrollados por los diferentes programas académicos de la institución, algunos enmarcados en la ejecución de la producción caprina de la granja, en el cual se llevan a cabo los procesos de producción de leche y alimentación de las cabras, sin embargo no se cuenta con los mecanismos óptimos. Actualmente toda la información que se recopila de dichos procesos se encuentra dispersa con poca organización, los procesos se realizan de forma manual sin ninguna sistematización lo que genera que dentro de los procesos se pierda información de gran importancia para la granja, impidiendo su análisis de una forma eficiente y eficaz, sin saber la producción diaria de leche y control de la alimentación que necesita para cada cabra,

Característica	**Cantidad**
Número de cabras paridase	40
Promedio de cabras/parto	1,5
Promedio de producción leche litros/cabra	1,0
Promedio días de gestación	150
Promedio días de lactancia	210

Tabla 1 – Datos generales de seguimiento sobre el proyecto caprino UFPS Ocaña.

impidiendo un mayor alcance en la región). En su primera versión el software en forma general lleva el historial sobre un total de 100 cabras, ver tabla 1;.de las siguientes razas: saanen 13 ejemplares; alpina 7 ejemplares; anglonubiana 4 ejemplares; santandereana 5 ejemplares; toggembur 3 ejemplares; canaria 6 ejemplares y mestizas 62 ejemplares.

La leche de cabra es un producto actualmente muy codiciado en los mercados internacionales teniendo mayor oferta y demanda en la región europea, generando ingresos significativos al producto interno bruto (PIB) de cada país, se hace más popular en los mercados mundiales, traspasando fronteras de aquellos países donde ya es considerada como uno de los componentes principales básicos de explotación pecuaria

Figura 6 – Registro datos de las cabras.

Figura 7 – Historial de cabras.

eficiente, es decir: animales de buena calidad, seleccionando genotipos lecheros, con una alimentación adecuada, buen manejo y sanidad. Para el caso específico de Colombia se tiene que la producción caprina se enfrasca en pequeños mercados regionales donde el mayor aprovechamiento va dirigido a la carne del animal, la mayor problemática del sector agropecuario en el país, es la poca organización y articulación del mismo, lo cual disminuye el posible éxito de aquellas personas que se dedican a la producción de carne y derivados caprinos, ver figura 6 y 7.

5. Conclusiones

La forma como el internet de las cosas (IoT) ha venido creciendo a nivel mundial incursionando en todos los sectores de nuestra vida social, personal y laboral destacando la industria, medicina, educación, servicios en el hogar, vigilancia, transporte y agricultura y demás, nos permitió establecer una visión de cómo podemos implementar un sistema IoT que administre y gestione los distintos procesos de la granja agropecuaria con la que cuenta la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Este artículo muestra el punto de partida para la construcción de una granja inteligente bajo un entorno IPV6 de forma segura minimizando el riesgo de comprometer activos de información de la organización.

Un valor agregado a la infraestructura granja inteligente son las redes definidas por software ya que permitirán llevar el control en lo referente a la seguridad a las capas superiores pues separa el hardware a través de la virtualización de los recursos.

Con el desarrollo de la aplicación móvil se logró una rapidez notable en la ejecución de los procesos logrando así que los encargados del proyecto caprino tengan un mayor control de la información y teniendo un enfoque más claro de qué tan productiva ha sido la producción de cada cabra.

Agradecimientos

A la UFPS Ocaña, mediante la División de Investigación y Extensión (DIE) vincula a docentes, administrativos y estudiantes para que participen en la ejecución y desarrollo de proyectos de investigación.

Referencias

Agile. (2016). *Electronics -AGILE - Agile Software Technologies* [Internet]. Recuperado de 2016, de http://agile.vtt.fi/mobiled.html

Airehrour, D., Gutierrez, J., & Ray, S. K. (2016). Secure routing for internet of things: a survey. *Journal of Network and Computer Applications*, *66*. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.03.006

Alvernia Acevedo, S. A., & Rico Bautista, D. (2017). Análisis de una red en un entorno ipv6: una mirada desde las intrusiones de red y el modelo TCP/IP. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, *1*(29), 81–91. https://doi.org/10.24054/16927257.v29.n29.2017.2490

Arévalo-Ascanio, J. G., Bayona-Trillos, R. A., & Rico-Bautista, D. W. (2015). Responsabilidad social empresarial e innovación: Una mirada desde las tecnologías de la información y comunicación en organizaciones. *Clío América*, *9*(18), 180. https://doi.org/10.21676/23897848.1535

Aziz, B. (2016). A formal model and analysis of an IoT protocol. *Ad Hoc Networks*, *36*, 49–57. https://doi.org/10.1016/J.ADHOC.2015.05.013

Barrientos-Avendaño, E., Rico-Bautista, D., Coronel-Rojas, L. A., & Cuesta-Quintero, F. R. (2019). Smart farm: Defining of infrastructure based on internet of things, IpV6 and software defined networks . *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (E17), 183–197.

Carvajal Escobar, J. E., Santos Jaimes, L. M., & Rico-Bautista, D. (2013). Movilidad en IPV6: simulación con Network Simulator. *INGE CUC, 9(2).*

Coccoli, M., Guercio, A., Maresca, P., & Stanganelli, L. (2014). Smarter universities: A vision for the fast changing digital era. *Journal of Visual Languages and Computing*, *25*(6), 1003–1011. https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2014.09.007

Danieletto, M., Bui, N., & Zorzi, M. (2013). RAZOR: A compression and classification solution for the internet of things. *Sensors (Switzerland)*, *14*(1), 68–94. https://doi.org/10.3390/s140100068

Dar, K., Taherkordi, A., Baraki, H., Eliassen, F., & Geihs, K. (2015). A resource oriented integration architecture for the Internet of Things: A business process perspective. *Pervasive and Mobile Computing*. https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.11.005

Fernández Martínez, A., & Llorens Largo, F. (2016). *Gobierno de las TI para universidades*.

Flauzac, O., Gonzalez, C., & Nolot, F. (2015). New security architecture for IoT network. In *Procedia Computer Science* (pp. 1028–1033). Elsevier Masson SAS. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.099

Gómez, J., Jimenez, T., Gumbau, J., & Llorens, F. (2017). *Universitic 2017 Análisis de las TIC en las Universidades Españolas*.

Guerrero, C. D., Parra-Valencia, J. A., & Rico-Bautista, D. (2017). IoT: Una aproximación desde ciudad inteligente a universidad inteligente. *Revista Ingenio UFPSO*, *13*(1), 9–20.

Jara, A. J., Moreno-Sanchez, P., Skarmeta, A. F., Varakliotis, S., & Kirstein, P. (2013). IPv6 addressing proxy: Mapping native addressing from legacy technologies and devices to the internet of things (IPv6). *Sensors (Switzerland)*, *13*(5), 6687–6712. https://doi.org/10.3390/s130506687

Li, S., Xu, L. Da, & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, *17*(2), 243–259. https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7

Lobo, J., & Rico-Bautista, D. (2012). Implementación de la seguridad del protocolo de internet versión 6. *Gerencia Tecnológica Informática*, *11*(29), 35–46.

Luvisi, A., & Lorenzini, G. (2014). RFID-plants in the smart city: Applications and outlook for urban green management. *Urban Forestry and Urban Greening*, *13*(4), 630–637. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.07.003

Maciá, F. (2017). *Smart University. Hacia una universidad más abierta (1ª ed)*. Alfaomega & Marcombo, Eds.

Medina-Cárdenas, Y. C., & Rico-Bautista, D. (2009). Modelo de gestión basado en el ciclo de vida del servicio de la Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información (ITIL). *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, 27, 1–21.

Medina-Cárdenas, Y., & Rico-Bautista, D. (2012). Mejores prácticas de gestión para la calidad de los servicios en tecnologías de información. *Gerencia Tecnológica Informática*.

Medina Cárdenas, Y. C., Areniz Arévalo, Y., & Rico Bautista, D. W. (2016). *Modelo estratégico para la gestión tecnológica en la organización: plan táctico de la calidad (ITIL & ISO 20000)*. (Instituto Tecnológico Metropolitano, Ed.). Instituto Tecnológico Metropolitano. https://doi.org/10.22430/9789585414006

Medina, Y., & Rico-Bautista, D. (2008). Modelo de gestión de servicios para la universidad de Pamplona: ITIL. *Scientia Et Technica*, *XIV* (39), 314–319.

Parra, L. D. L., Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., & Sanchez-Ortiz, E. A. (2019). Defining of a practical methodology for the acquisition and analysis of digital evidence in the context of a research post mortem . *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, *2019* (E18), 369–384.

Rico-Bautista, D., Guerrero, C. D., Medina-Cárdenas, Y., & García-Barreto, A. (2019). Analysis of the potential value of technology: Case of universidad francisco de paula santander Ocaña . *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (E17), 756–774.

Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., & Rojas-Osorio, J. A. (2016). Pentesting empleando técnicas de ethical hacking en redes IPv6. *Revista Ingenio UFPSO*, *11*(70–96), 1.

Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., & Santos Jaimes, L. M. (2008). Ipsec de Ipv6 en la universidad de Pamplona. *Scientia Et Technica*, *2*(39), 320–325. https://doi.org/10.22517/23447214.3239

Rico-Bautista, D., Medina-Cárdenas, Y., & Guerrero, C. D. (2019). Smart University: A Review from the Educational and Technological View of Internet of Things. In *Information Technology and Systems Proceedings of ICITS 2019* (pp. 427–440). https://doi.org/10.1007/978-3-030-11890-7_42

Rueda-Rueda, J., Manrique, J., & Cabrera Cruz, J. (2017). *Internet de las Cosas en las Instituciones de Educación Superior*.

Rueda-Rueda, J. S., Rico-Bautista, D., & Florez-Solano, E. (2019). Guía práctica abierta para el análisis forense digital en dispositivos Android. *RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de La Información)*, *18*, 442–457.

Sánchez-Torres, B., Rodríguez-Rodríguez, J. A., Rico-Bautista, D. W., & Guerrero, C. D. (2018). Smart Campus: Trends in cybersecurity and future development. *Revista Facultad de Ingeniería*, *27*(47). https://doi.org/10.19053/01211129.v27.n47.2018.7808

Santos, L. M., & Rico-Bautista, D. (2007). IPv6 en la Universidad de Pamplona: Estado del arte. *Scientia Et Technica*, *XIII*, 415–420.

Savov, T., Terzieva, V., Todorova, K., & Kademova-Katzarova, P. (2017). Contemporary technology support for education. *CBU International Conference Proceedings*, *5*, 802.

Stočes, M., Vaněk, J., Masner, J., & Pavlík, J. (2016). Internet of Things (IoT) in Agriculture - Selected Aspects. *Agris On-Line Papers in Economics and Informatics*, *VIII*(1), 83–88. https://doi.org/10.7160/aol.2016.080108

Sun, Y., Song, H., Jara, A. J., & Bie, R. (2016). Internet of Things and Big Data Analytics for Smart and Connected Communities. *IEEE Access*, *4*, 766–773. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2529723

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 16/05/2019
Aceitação/Acceptance: 25/07/2019

Desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios: tendencias y desafíos de investigación

Fredy H. Vera-Rivera[1,2], Carlos Mauricio Gaona Cuevas[2], Hernán Astudillo[3]

fredyhumbertovera@ufps.edu.co, mauricio.gaona@correounivalle.edu.co, hernan@inf.utfsm.cl

[1] Grupo de Investigación GIA, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia

[2] Grupo de Investigación GEDI, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

[3] Grupo de Investigación Toeska, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile

Pages: 107–120

Resumen: Los microservicios son un enfoque arquitectónico y organizativo del desarrollo de software en el que las aplicaciones están compuestas por pequeños servicios independientes que se comunican a través de un API bien definida y protocolos ligeros. En este trabajo se realizó una revisión de literatura para identificar los desafíos y tendencias de investigación presentes en las fases del proceso de desarrollo y en la gestión de atributos de calidad de este tipo de aplicaciones. Las tendencias se encuentran en la fase de desarrollo y en la fase de diseño; los atributos de calidad más estudiados son la escalabilidad y la calidad del servicio. Los desafíos de la investigación se centran en: definir el nivel de granularidad de los microservicios, modularización y refactorización de servicios, integración con la interfaz de usuario, seguridad, orquestación, monitoreo, gestión y supervisión de microservicios, tolerancia a fallas, recuperación y auto reparación de microservicios.

Palabras-clave: Desarrollo de software; microservicios; escalabilidad; calidad de servicio.

Development of microservices-based applications: trends and research challenges

Abstract: Microservices are an architectural and organizational approach to software development in which applications are composed of small, independent services that communicate through a well-defined API and lightweight protocols. In this work, a literature review was carried out to identify the challenges and research trends present in the phases of the development process and in the management of quality attributes of this type of applications. The trends are in the development and design phase; the most studied quality attributes are scalability and quality of service. The research challenges focus on: defining the level of granularity of microservices, modularization and refactoring of services, integration with the

user interface, security, orchestration, monitoring, management and supervision of microservices, fault tolerance, recovery and self-repair of microservices.

***Keywords**:* Software development; Microservices; scalability; quality of service.

1. Introducción

Actualmente las empresas de desarrollo de software deben codificar, probar y desplegar las aplicaciones realizando lanzamiento de nuevas versiones en duraciones cada vez más cortas. Anteriormente las versiones de software ocurrirían una o dos veces al año, ahora, dadas las oportunidades competitivas del mercado, se requieren entregas en períodos de tiempo más cortos. Por lo tanto, estas organizaciones necesitan innovar y mejorar su proceso de desarrollo, adoptando prácticas y métodos novedosos en la industria como son: practicas ágiles, DevOps y microservicios (O'Connor, Elger, & Clarke, 2016).

Por otro lado, la gestión de la información de las aplicaciones ha crecido considerablemente, cientos o miles de usuarios se conectan simultáneamente y ejecutan muchas transacciones a la vez; lo cual puede afectar el consumo de recursos computacionales y atributos de calidad, los cuales deben ser administrados eficientemente de tal manera que la aplicación cumpla con sus objetivos y necesidades. Actualmente estos recursos son gestionados y desplegados principalmente en la nube. Las aplicaciones tradicionalmente suelen ser grandes y monolíticas, por lo que es difícil migrar a la nube y desacoplar este tipo de aplicaciones. La arquitectura de microservicios ayuda a reducir la complejidad de gestionar y manejar estas características: escalado automático y granular, pruebas automatizadas, integración y despliegue continuo, seguridad y tolerancia a fallas. El desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios facilita actualizaciones permanentes, más rápidas y automatizadas usando las prácticas de DevOps, logrando entregas más cortas, automatizadas y probadas ampliamente.

En este trabajo de investigación se realiza una revisión de literatura para identificar y describir las tendencias de investigación actuales en el proceso de desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios. Se detallan y clasifican por fase del proceso de desarrollo los vacíos de investigación y posibles trabajos futuros. También se identifican y resumen otras revisiones de literatura que detallan el estado del arte y de la práctica del desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios. En la sección 2 se presentan los trabajos relacionados, posteriormente en la sección 3 se presentan la metodología llevada a cabo en la revisión de literatura, luego en la sección 4 se detallan los resultados obtenidos, resaltando las tendencias, avances y vacíos de investigación por fase del proceso de desarrollo; por último, en la sección 5 se dan las conclusiones.

2. Trabajos relacionados

Se han publicado un conjunto amplio de revisiones de literatura en el área de investigación de la arquitectura de microservicios. Estas revisiones están enfocadas en diferentes aspectos de los microservicios, como son: modelaje y arquitectura de aplicaciones, patrones de diseño y desarrollo, adopción industrial, estados de la práctica, revisión de literatura gris, análisis y entrevistas a líderes industriales, arquitectos de software y

desarrolladores de aplicaciones basadas en microservicios. A continuación, se resumen en orden cronológico estas revisiones de literatura:

N. Alshuqayran, N. Ali y R. Evans, llevan a cabo un estudio centrado en la identificación de los retos arquitectónicos se enfrentan los sistemas de microservicios, los diagramas / vistas arquitectónicas y los atributos de calidad de los microservicios (Alshuqayran, Ali, & Evans, 2016). Claus Pahl y Pooyan Jamshidi, identifican las principales motivaciones prácticas de los microservicios, los tipos de arquitecturas involucradas y los métodos, las técnicas y el soporte de herramientas existentes para permitir el desarrollo y la operación de la arquitectura de microservicio (Pahl & Jamshidi, 2016).

Di Francesco, P. Malavolta y P. Lago, se enfocan en determinar cuáles son las tendencias de publicación de los estudios de investigación sobre la arquitectura con microservicios y en cuál es el potencial para la adopción industrial de la investigación existente sobre la arquitectura con microservicios(Francesco, Malavolta, & Lago, 2017). Esta revisión fue ampliada, mejorada, más detallada y publicada en una revista internacional por los autores en (Di Francesco, Lago, & Malavolta, 2019). Hulya V, Murat K y Sinem G, llevan a cabo una revisión de la literatura para comprender las tendencias de microservicios, estándares emergentes y posibles lagunas de investigación. Concluyen que "los microservicios son un tema de tendencia y la predicción es que veremos una tendencia creciente en el futuro cercano (Vural, Koyuncu, & Guney, 2017).

Olaf Zimmermann extrae los principios de microservicios de la literatura y realiza una comparación con SOA, destaca los puntos críticos en la literatura de microservicios, como resultado de la revisión de la literatura SOA / microservicios y de discusiones con líderes de opinión industrial, desarrolladores y miembros de la comunidad orientada a servicios (Zimmermann, 2017). Jamshidi y otros, presentan una perspectiva tecnológica y arquitectural de la evolución de los microservicios. En esta introducción editorial también se establecen los desafíos de investigaciones futuras (Jamshidi, Pahl, Mendonca, Lewis, & Tilkov, 2018).

Jacopo Soldani y otros, analizan sistemáticamente la literatura industrial gris sobre microservicios para definir el estado de la práctica, identifican los problemas y beneficios técnicos / operativos del estilo arquitectónico basado en microservicios, a un nivel industrial (Soldani, Tamburri, & Heuvel, 2018). Ghofrani Javad y Lübke Daniel, se enfocan en resolver estas preguntas: ¿Cuáles son los principales desafíos / preocupaciones en el diseño y el proceso de desarrollo de microservicios? ¿Cuáles son las principales razones para aprovechar y prevenir el uso de enfoques sistemáticos en las arquitecturas de microservicios? ¿Hay alguna sugerencia o solución de los expertos para mejorar aspectos de la arquitectura de microservicios? proporcionan un mapa actualizado del estado de la práctica en la arquitectura de microservicios y sus complejidades para futuras investigaciones (Ghofrani & Lübke, 2018).

Mohammad Sadegh Hamzehloui y otros, el objetivo de este estudio es conocer las tendencias comunes y la dirección de las investigaciones en microservicios, evidencian un número creciente de documentos de evaluación, lo que indica que los microservicios han comenzado a implementarse más ampliamente en el mundo real (Hamzehloui, Sahibuddin, & Salah, 2019). Sara Hassan, Rami Bahsoon y Rick Kazman realizan un

mapeo sistemático con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la transición a los microservicios; consolidan varias opiniones (industriales, investigadores y académicos) de los principios, métodos y técnicas que se adoptan comúnmente para ayudar en la transición a los microservicios – Microservitización (Hassan, Bahsoon, & Kazman, 2019).

En este trabajo se resumen, condensan y clasifican los vacíos de investigación por fase del proceso de desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios, basados en las revisiones anteriores y en nuestra propia revisión, esta revisión es complementaria a los trabajos relacionados. El uso de la arquitectura de microservicios es un tema de mucho interés a nivel industrial, académico e investigativo, por lo tanto, resumir, identificar y clasificar los vacíos de investigación pueden plantear caminos a seguir en futuras investigaciones. En esta revisión la selección de los artículos se realiza clasificando los resultados de la búsqueda por los más relevantes y los más citados según la clasificación dada en cada base de datos, siendo esta una diferencia fundamental con las otras revisiones, aunque los resultados son muy similares.

3. Metodologia

El método llevado a cabo para recopilar la información y realizar la revisión de literatura se puede apreciar en la figura 1. Primero se definieron los criterios de búsqueda (tabla 1) en cada una de las bases de datos, luego se seleccionaron para cada criterio de búsqueda los artículos más relevantes y los artículos más citados, posteriormente se ordenaron y eliminaron los artículos repetidos, luego se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, luego se revisaron uno a uno los artículos seleccionados, detallando el trabajo y los aportes realizados; por último, se dan las conclusiones de este proceso. La búsqueda de literatura se realizó en octubre de 2018.

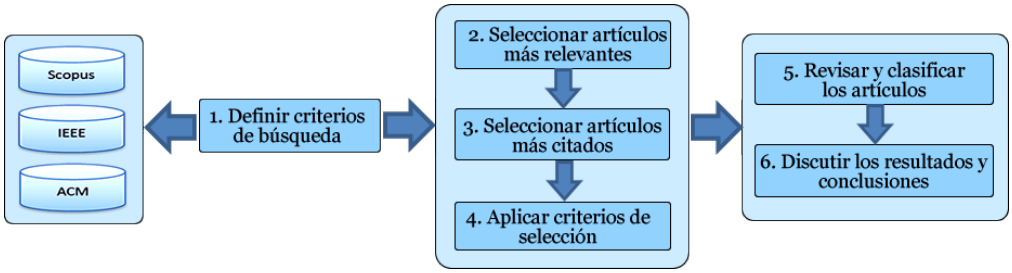


Figura 1 – Método llevado a cabo en la revisión de literatura

Las preguntas de investigación cubiertas en esta revisión de literatura son:

1. ¿Cuáles son las tendencias actuales en los trabajos de investigación en el desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios?
2. ¿Cuáles son los principales desafíos pendientes de resolver en el desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios?
3. ¿Qué lenguajes, modelos o herramientas de especificación de la arquitectura de microservicios han sido publicados?

La búsqueda se realizó en las bases de datos de publicaciones científicas más importantes del mundo en el área de la computación, como son IEEE, Scopus y ACM. Se definieron 4 cadenas o criterios de búsqueda (ver tabla 1) y se aplicaron en cada base de datos. Luego, se definen los criterios de inclusión y exclusión usados para seleccionar los artículos que fueron parte de este estudio.

Criterio de busqueda	Descripción	Pregunta a resolver
Microservice or micro service	Se buscaron todas las publicaciones relacionadas con los microservicios.	Pregunta de investigación 1 y 2
"Microservices" and "Web Development"	Trabajos relacionados al desarrollo de aplicaciones web y microservicios	Pregunta de investigación 1 y 2
"Microservices" and "Agile"	Trabajos relacionados entre microservicios y desarrollo o metodologías ágiles.	Pregunta de investigación 1 y 2
("micro service" OR microservice) AND (design OR model OR specification)	Trabajos relacionados entre microservicios, diseño, modelaje y especificación	Pregunta de investigación 3

Tabla 1 – Criterios de búsqueda

Criterios de inclusión:

1. Los trabajos de revisión de literatura, mapeo o revisión sistemática de literatura, los cuales identifican vacíos y tendencias de investigación en microservicios.
2. Artículos de investigación primarios que se centran en el diseño, la arquitectura, el desarrollo, el despliegue, el monitoreo o pruebas de aplicaciones basadas en microservicios.
3. Artículos de investigación primarios que proponen lenguajes, modelos o herramientas de especificación de la arquitectura de aplicaciones basadas en microservicios.
4. Trabajos presentados en conferencias internacionales, revistas internacionales y capítulos de libros en el campo de la ingeniería del software.

Criterios de exclusión:

1. Artículos de opinión, tutoriales, ejemplos o experiencias que no realicen un aporte al área de investigación de los microservicios.
2. Artículos que utilizan a los microservicios como un tópico secundario.
3. Literatura disponible solo en forma de resumen, blogs, videos o presentaciones.
4. Artículos que no están escritos en inglés o español.

4. Resultados

Al realizar la búsqueda por cada uno de los criterios en las bases de datos de publicaciones científicas se obtuvieron los resultados presentados en la figura 2. Es de resaltar que se hicieron 4 procesos de búsqueda, uno por cada criterio de consulta y para cada uno se analizaron los artículos más relevantes y los más citados. Se revisaron las tendencias

actuales de trabajos de investigación publicados en todo el mundo, entre los años 2015 y 2018 principalmente. Después de aplicar los criterios de selección, se obtuvo una muestra de 101 artículos.

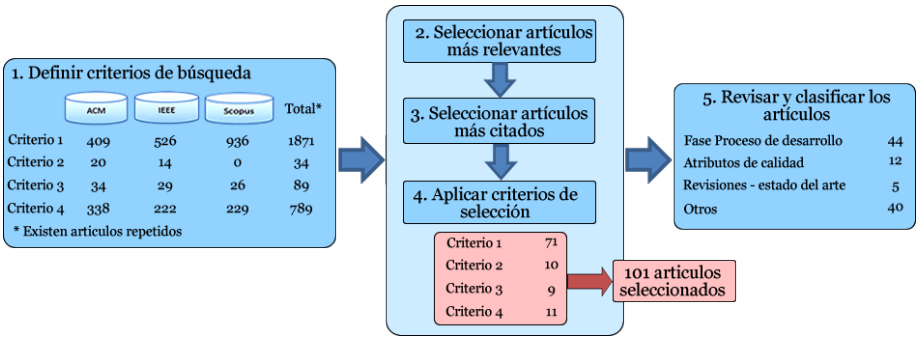


Figura 2 – Resultados en cada etapa del método llevado a cabo en la revisión de literatura

4.1. Tendencias de investigación en desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios

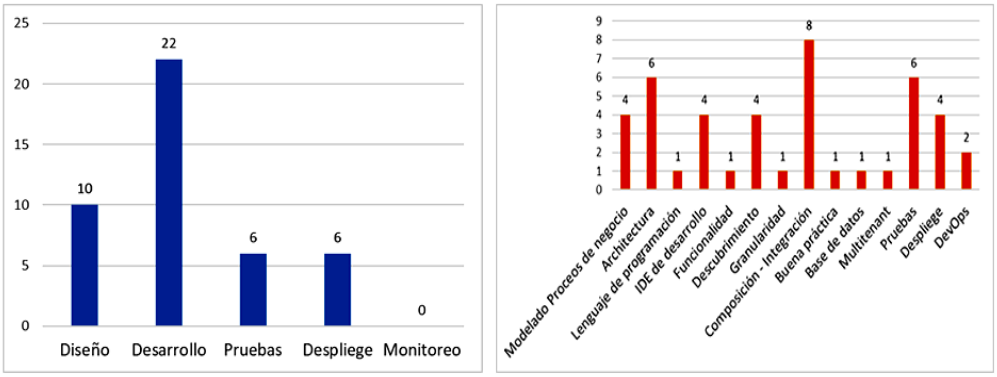
Para identificar las tendencias y los vacíos de investigación en el desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios, se clasificaron en las fases del proceso de desarrollo y en las áreas operacionales que se muestran en la tabla 2. Además, se clasificaron según los atributos de calidad estudiados y en otros factores diferentes al proceso de desarrollo. Los criterios de clasificación se basan en el trabajo propuesto por (Wieringa, Maiden, Mead, & Rolland, 2006) y se usan ampliamente en las revisiones de literatura planteadas en la sección 2. Las áreas operacionales se identificaron también a partir esas revisiones de literatura.

Fase del proceso de desarrollo	Area Operacional
Diseño	1) Modelado de procesos de negocio. 2) Arquitectura
Desarrollo	1) Lenguaje de programación, 2) IDE de desarrollo, 3) Funcionalidad, 4) Descubrimiento de servicios, 5) Granularidad, 6) Composición – integración, 7) Buenas prácticas, 8) Base de datos, 9) Multitenant
Pruebas	Pruebas (sin división)
Despliegue	1) Despliegue, 2) DevOps
Monitoreo	1) Monitoreo, 2) Analíticas

Tabla 2 – Fases del proceso de desarrollo y áreas operacionales

La Figura 3.a muestra la distribución por fase del proceso de desarrollo de los artículos revisados. Se puede observar que el foco de la investigación se centra en el desarrollo o implementación de microservicios con el 22% de los artículos, seguido por la fase de diseño con el 10%, pruebas y despliegue también han sido abordadas con el 6%.

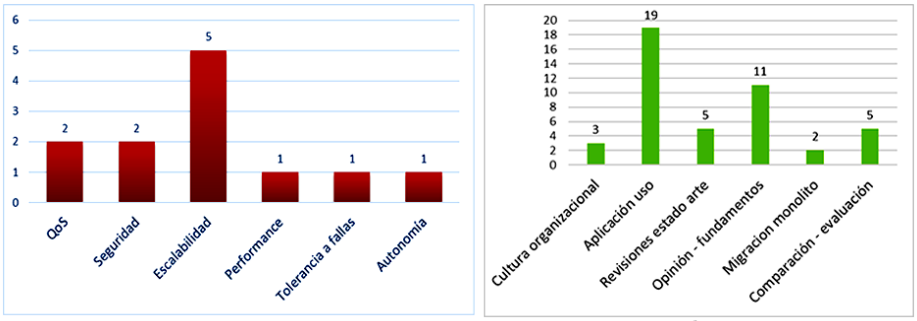
No se encontraron artículos específicos en la fase de monitoreo, siendo este un punto importante de los microservicios que requiere mayor investigación.



a. b.

Figura 3 – a. Distribución de los artículos por fase del proceso de desarrollo. b. Distribución de los artículos por área operacional.

La Figura 3.b muestra estos resultados detallados por área operacional, corresponden a 44 de los artículos revisados 43,6%. En esta división, el mayor número de trabajos corresponde a las técnicas o métodos de composición e integración de microservicios con un 18.2%, seguido por modelos o métodos para definir la arquitectura de microservicios y pruebas con 13.6%. En el siguiente grupo aparecen áreas como modelado de procesos de negocios, entornos de desarrollo integrados, descubrimiento de microservicios y despliegue con un 9.1%. La definición de la granularidad de microservicios, los lenguajes de programación específicos para microservicios, la funcionalidad, la definición de buenas prácticas, las técnicas para refactorizar la base de datos, el uso de arquitecturas multitenan, con el 2,3% de los artículos; evidenciando que hay vacíos de investigación en



a. b.

Figura 4 – a. Distribución de los artículos por atributos de calidad. b. Distribución de los artículos por otros factores diferentes al proceso de desarrollo.

estos temas. Luego aparece DevOps con un 4,5%, siendo bajo el número de los artículos, DevOps es fundamental para el desarrollo de aplicaciones basada en microservicios. En otras áreas como la orquestación, la disponibilidad, el monitoreo y las analíticas no se encontraron trabajos, evidenciado que hacen falta investigaciones.

En la figura 4.a se presentan los artículos que se enfocan en atributos de calidad, correspondiendo a 12 artículos siendo el 11.9%. El atributo de calidad más estudiado es la escalabilidad con 41.7%, seguido por la calidad del servicio QoS y seguridad con 16.7%. Por último, aparecen atributos como el rendimiento, la tolerancia a fallas y la autonomía con 8.3%.

En la figura 4.b, se clasifican los artículos por otros factores diferentes al proceso de desarrollo, encontrando 45 artículos en esta división (45.9%). Se puede apreciar que la aplicación y uso de la arquitectura de microservicio en otras áreas es la de mayor número de trabajos con el 42% de ellos, seguidos por los artículos de opinión y fundamentos con 24.4%, estos artículos discuten las propiedades y plantean los diferentes conceptos teóricos y prácticos de los microservicios. Luego siguen las revisiones de literatura o estados del arte junto con las comparación y evaluación de los microservicios 11.11%. Por último, aparecen artículos que discuten la cultura organizacional y las migraciones de monolitos a microservicios.

Area de clasificación	**Porcentaje de artículos**	**Tendencia de investigación**
Proceso de desarrollo	43.6%	1) Fase de desarrollo: Técnicas de composición e integración. 2) Fase de diseño: Arquitectura. 3) Pruebas.
Atributos de calidad	11,9%	1) Escalabilidad, 2) Calidad del servicio – QoS. 3) Seguridad
Otros factores	44.5%	1) Aplicación uso en otras áreas. 2) Opinión y fundamentos de los microservicios

Tabla 3 – Tendencias de investigación en microservicios

En resumen, la tabla 3 condensa las tendencias de investigación encontradas en esta revisión de literatura. Para finalizar, se analizaron otras áreas de aplicación de los microservicios, estas se pueden apreciar en la figura 5. En primer lugar, aparecen los trabajos que se enfocan en mejorar algún aspecto de los microservicios, estos incluyen los artículos por fase del proceso de desarrollo y los que estudian los atributos de calidad, correspondientes al 55.5% de los artículos revisados.

Luego aparecen los trabajos que se centran en estudiar temas específicos de la computación en la nube (Cloud) correspondientes al 26,7%, la relación de los microservicios y la nube es estrecha, sobre todo en la forma como se despliegan sobre infraestructuras como servicios: máquinas virtuales y contenedores principalmente; también temas como DevOps, gestión de contenedores, el despliegue en la nube, sistemas operativos heterogéneos, el ahorro de energía, la simulación de eventos distribuidos y paralelo y los centros de datos distribuidos.

La arquitectura de microservicios puede mejorar diferentes aspectos de las tecnologías del Internet de las Cosas IoT, en esta revisión se encontraron artículos que abordan

estas temáticas y corresponden al 11.9% de nuestra revisión. Otros usos incluyen redes de telecomunicaciones donde incluyen la arquitectura de microservicios, sistemas de salud E-health, vehículos autónomos y comercialización de energía eléctrica. Estos corresponden al 5,9% de los trabajos revisados.

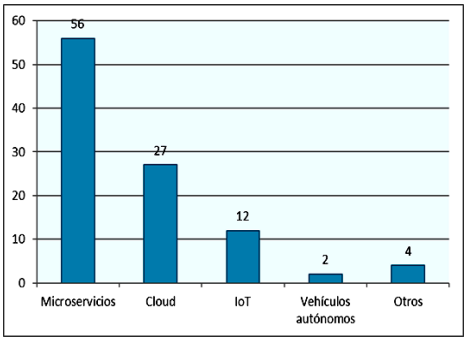


Figura 5 – Áreas de uso de la arquitectura de microservicios.

4.2. Desafíos de investigación en el desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios

Teniendo en cuenta los trabajos relacionados presentados en la sección 3 y la revisión de literatura presentada en la sección 4.1, se identificaron los vacios de investigación y se clasificaron por área del proceso de desarrollo y se resumen a continuación. La figura 6 presenta los vaciós de investigación identificados en la fase de diseño y en la fase de desarrollo.

Los retos en la fase de diseño se centran en proponer herramientas o lenguajes de modelado, determinar la granularidad correcta de los microservicios, determinar qué tan pequeño debe ser, cuántas funcionalidades debe incluir y manejar, también definir patrones de diseño y lenguajes arquitecturales para gestionar la complejidad de las aplicaciones basadas en microservicios. DevOps es fundamental, proponer trabajos que profundicen DevOps, microservicios y IoT (Osses, Márquez, & Astudillo, 2018).

En la fase de desarrollo los retos de investigación se presentan en la figura 7.b, la gestión de los datos es uno de los retos más importantes y muy discutidos. Gestionar bases de datos distribuidas, con transacciones y consultas distribuidas es un tema abierto que requiere más investigación. Mantener la consistencia de los datos en un sistema distribuido sin afectar el rendimiento es un tema de mucho interés (Mishra, Kunde, & Nambiar, 2018). Gestionar la interfaz de usuario con diferentes dispositivos y de diferentes tipos, se requiere ayudar a las organizaciones a implementar un entorno de microservicio de pila completa (Full-Stack microservices) (Jamshidi et al., 2018)

La figura 7.a, presenta los vacíos de investigación presentes en la fase de pruebas y en la fase de despliegue, las pruebas han sido estudiadas y se cuenta con estrategias de pruebas automáticas e integradas para los microservicios, estás pruebas normalmente hacen parte de una tubería (pipeline) de integración y despliegue continuo, aunque se

siguen presentando dificultades al gestionarlas de forma distribuida entre diferentes contenedores y/o microservicios.

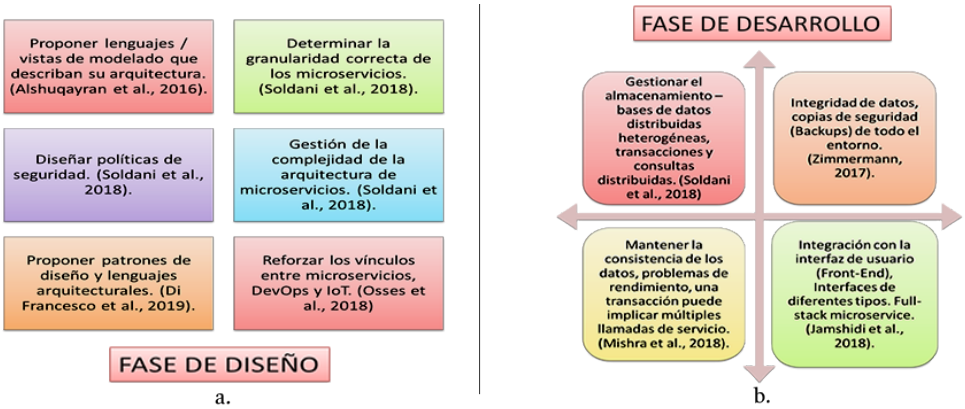


Figura 6 – a. Desafíos de investigación fase de diseño. b. Desafíos de investigación fase de desarrollo.

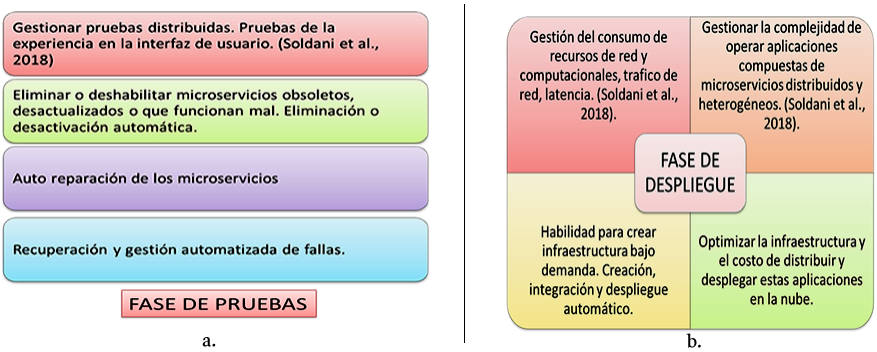


Figura 7 – a. Desafíos de investigación fase de pruebas. b. Desafíos en la fase de despliegue.

La fase de despliegue presenta los desafíos que se resumen en la figura 7.b se requieren métodos de automatización del despliegue continuo, la gestión de recursos de red y computacionales principalmente desplegados en la nube.

Adicionalmente, la seguridad es un área de mucho interés, específicamente el control de acceso es un reto de investigación, el control consistente y descentralizado de la aplicación, se presenta proliferación de EndPoints generando mayores puntos vulnerables a ataques, actualmente se realiza un soporte centralizado para el control de la seguridad (Soldani et al., 2018). El monitoreo es otro punto importante, monitorear un conjunto heterogéneo de microservicios que evolucionan dinámicamente.

El manejo de logs, gestionar logs distribuidos, uno por cada microservicio, también la localización de problemas son otras preocupaciones importantes en la operación de aplicaciones basadas en microservicios. Definir umbrales y filtros de alerta apropiados,

para notificar a los desarrolladores cuando algo sale mal sin sobrecargarlos con información redundante o irrelevante (Jamshidi et al., 2018). Brechas de investigación pueden existir en las áreas relacionadas con estos atributos de calidad: Seguridad, confiabilidad y portabilidad (Di Francesco et al., 2019).

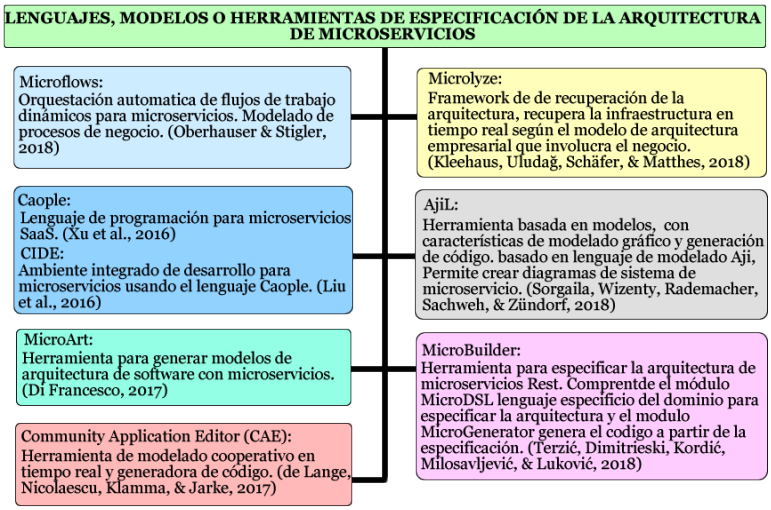


Figura 8 – Lenguajes, modelos o herramientas de especificación de la arquitectura de microservicios.

4.3. Lenguajes, modelos o herramientas de especificación de la arquitectura de microservicios

El diseño de aplicaciones basadas en microservicios presenta algunos desafíos interesantes, se han propuesto trabajos que permiten especificar y modelar la arquitectura de las aplicaciones basadas en microservicios. La figura 8 presenta estos trabajos.

Se puede apreciar que se han propuesto y validado lenguajes de programación específicos para microservicios, ambientes integrados de desarrollo, lenguajes y herramientas de modelado que permiten especificar la arquitectura de aplicaciones basadas en microservicios y luego generar el código de la aplicación, como también herramientas de modelado de procesos de negocio y flujos de trabajo.

5. Conclusiones

En este trabajo se presenta una revisión de literatura enfocada en el desarrollo de aplicaciones basadas en microservicios. Primero se identificaron y resumieron las revisiones sistemáticas de literatura, estados del arte y de la práctica que han sido publicados, estas revisiones se enfocan principalmente en el modelaje y arquitectura de aplicaciones basadas en microservicios, en identificar los patrones de diseño y de desarrollo, en analizar la adopción industrial, identifican las ventajas y desventajas de los microservicios, realizan análisis y entrevistas a líderes industriales,

arquitectos de software y desarrolladores de aplicaciones basadas en microservicios. Se analizaron estas revisiones junto con 101 artículos para identificar las tendencias y desafíos de investigación por fase del proceso de desarrollo.Las tendencias de investigación se encuentran en la fase de desarrollo, el cómo implementar y usar los microservicios es un tema muy estudiado, junto con las técnicas de composición, integración y pruebas; luego en la fase de diseño, la arquitectura ya ha sido muy investigada, se han propuesto herramientas, modelos y lenguajes de definición de la arquitectura propios para los microservicios. La aplicación y uso de los microservicios en otras áreas y los artículos de opinión y fundamentos de los microservicios son otras tendencias, estos artículos establecen las bases conceptuales y metodológicas para poder usar los microservicios. Los atributos de calidad más estudiados son la escalabilidad y la calidad del servicio – QoS según está revisión. Los desafíos de la investigación se centran principalmente en la definición del nivel de granularidad de los microservicios, en la modularización y refactorización de servicios, en la integración con la interfaz de usuario (front-end), en la seguridad, en la orquestación, en el monitoreo, en la gestión y supervisión de microservicios, en la tolerancia a fallas, en la recuperación y auto reparación, en la definición de técnicas, procesos, modelos, herramientas y buenas prácticas a nivel de diseño, implementación y mantenimiento de microservicios.

Referencias

Alshuqayran, N., Ali, N., & Evans, R. (2016). *A systematic mapping study in microservice architecture* [Internet]. Retrieved from http://dspace.brunel.ac.uk/bitstream/2438/14968/1/FullText.pdf

De Lange, P., Nicolaescu, P., Klamma, R., & Jarke, M. (2017). Engineering web applications using real-time collaborative modeling. In *CRIWG 2017, Collaboration and Technology* (pp. 213–228). *Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63874-4_16

Di Francesco, P. (2017). Architecting microservices. In *Proceedings - IEEE International Conference on Software Architecture Workshops, ICSAW: Side Track Proceedings*, 224–229. https://doi.org/10.1109/ICSAW.2017.65

Di Francesco, P., Lago, P., & Malavolta, I. (2019). Architecting with microservices: a systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 150, 77–97. https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.01.001

Ghofrani, J., & Lübke, D. (2018). Challenges of microservices architecture : a survey on the state of the practice. *Zeus 2018, 10th ZEUS*.

Hamzehloui, M. S., Sahibuddin, S., & Salah, K. (2019). A systematic mapping study on microservices Mohammad. In F. Saeed, N. Gazem, F. Mohammed, & A. Busalim (Eds.), *IRICT: International Conference of Reliable Information and Communication Technology 2018*, Vol. 843, (pp. 1079–1090). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99007-1

Hassan, S., Bahsoon, R., & Kazman, R. (2019). Microservice transition and its granularity problem: a systematic mapping study, 1(1), 1–36. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1903.11665

Jamshidi, P., Pahl, C., Mendonca, N. C., Lewis, J., & Tilkov, S. (2018). Microservices: the journey so far and challenges ahead. *IEEE Software*, 35(3), 24–35. https://doi.org/10.1109/MS.2018.2141039

Liu, D., Zhu, H., Xu, C., Bayley, I., Lightfoot, D., Green, M., & Marshall, P. (2016). CIDE: an integrated development environment for microservices. In *Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Services Computing, SCC 2016*, (pp. 808–812), https://doi.org/10.1109/SCC.2016.112

Mishra, M., Kunde, S., & Nambiar, M. (2018). Cracking the monolith - challenges in data transitioning to cloud native architectures. In *Proceedings of the 12th European Conference on Software Architecture Companion Proceedings - ECSA '18* (pp. 1–4), New York, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/3241403.3241440

O'Connor, R. V., Elger, P., & Clarke, P. M. (2016). Exploring the impact of situational context — a case study of a software development process for a microservices architecture. *2016 IEEE/ACM International Conference on Software and System Processes (ICSSP), (pp.* 6 – 10) https://doi.org/10.1109/ICSSP.2016.009

Osses, F., Márquez, G., & Astudillo, H. (2018). An exploratory study of academic architectural tactics and patterns in microservices: a systematic literature review. *Avances En Ingenieria de Software a Nivel Iberoamericano, CIbSE 2018*, (pp. 71–84).

Pahl, C., & Jamshidi, P. (2016). Microservices: a aystematic mapping study. *Proceedings of the 6th International Conference on Cloud Computing and Services Science*, (pp. 137–146). https://doi.org/10.5220/0005785501370146

Soldani, J., Tamburri, D. A., & Heuvel, W.J. (2018). The pains and gains of microservices: a systematic grey literature review. *Journal of Systems and Software*, 146, 215–232. https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.09.082

Sorgaila, J., Wizenty, P., Rademacher, F., Sachweh, S., & Zündorf, A. (2018). AjiL - enabling model-driven microservice development Jonas. In *Proceedings of the 12th European Conference on Software Architecture Companion Proceedings - ECSA '18*, (pp. 1–4). New York, USA: ACM Press. https://doi.org/10.1145/3241403.3241406

Terzić, B., Dimitrieski, V., Kordić, S., Milosavljević, G., & Luković, I. (2018). Development and evaluation of MicroBuilder: a model-driven tool for the specification of REST microservice software architectures. *Enterprise Information Systems,* 12(8–9), 1034–1057. https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1460766

Vural, H., Koyuncu, M., & Guney, S. (2017). A systematic literature review on microservices. *Springer, Cham*. 203–217. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62407-5_14

Wieringa, R., Maiden, N., Mead, N., & Rolland, C. (2006). Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion. *Requirements Engineering,* 11(1), 102–107. https://doi.org/10.1007/s00766-005-0021-6

Xu, C., Zhu, H., Bayley, I., Lightfoot, D., Green, M., & Marshall, P. (2016). CAOPLE: A programming language for microservices SaaS. Proceedings - *2016 IEEE Symposium on Service-Oriented System Engineering, SOSE 2016,* (1), (pp. 42–52). https://doi.org/10.1109/SOSE.2016.46

Zimmermann, O. (2017). Microservices tenets: Agile approach to service development and deployment. *Computer Science - Research and Development,* 32(3–4), 301–310. https://doi.org/10.1007/s00450-016-0337-0

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 08/06/2019
Aceitação/Acceptance: 27/09/2019

Sistema de riego con tecnología IoT: Smart Drip System

Daniela Perez O[1], Katerine Marceles[1], Eleonora Palta V[1], Gabriel Elías Chanchi G[2]

danielaperez@unimayor.edu.co, kmarceles@unimayor.edu.co, elepalta@gmail.com, gchanchi@unimayor.edu.co

[1] Institucion Unversitaria Colegio Mayor del Cauca , Popayan- Cauca, Colombia

[2] Universidad de Cartagena , Cartagena-Bolivar, Colombia

Pages: 121–133

Resumen: Mediante este artículo se presenta Smart Drip System, un sistema de riego que permite el monitoreo de los cultivos mediante la obtención y análisis de variables dadas por las condiciones climáticas y la salinidad de las tierras donde esté el cultivo; el sistema de riego presenta una arquitectura para la agricultura de precisión soportada en una arquitectura abierta de Internet de las cosas (IoT). Esta arquitectura consta de dos vistas de negocio que a su vez cuentan con subcapas relacionadas para su funcionamiento, donde se encuentra la capa de captura, almacenamiento, procesamiento y consulta y en la vista funcional se presenta la capa de recolección, comunicación, gestión y consulta. Los resultados obtenidos mediante la experimentación muestran el funcionamiento efectivo de la plataforma de automatización del riego.

Palabras-clave: Agricultura de precisión; Internet de las cosas; Sistemas de riego; Arquitectura IoT; Variables climáticas.

Smart Drip System. An Irrigation System with IoT technology

Abstract: This article presents Smart Drip System, an irrigation system that allows the monitoring of crops by obtaining and analyzing variables given by climatic conditions and salinity of the land where the crop is; The irrigation system presents an architecture for precision agriculture supported by an open Internet of Things (IoT) architecture. This architecture consists of two business views that in turn have related sub-layers for its operation, where the capture, storage, processing and query layer is located and in the functional view the collection, communication, management and query layer is presented. The results obtained through experimentation show the effective operation of the irrigation automation platform

Keywords: Climatic variables; Internet of things; Irrigation systems; IoT architecture; Precision agriculture.

1. Introducción

En la actualidad los problemas agrícolas que podrían ser agravados por el calentamiento y que deberían ser el foco de las medidas destinadas a reducir la vulnerabilidad incluyen los cultivos en lugares con condiciones climáticas o de suelo deficientes (por ejemplo, poca humedad en el suelo de algunas áreas, agua en exceso en otras, o suelos con niveles altos de salinidad, alcalinidad o acidez). A causa del calentamiento, esas condiciones podrían generalizarse o la agricultura tendría que expandirse hacia áreas con suelos más pobres, o ambas cosas. Las medidas concentradas en aumentar la productividad agrícola en las condiciones marginales actuales aliviarían el hambre en el futuro, se produzca o no un cambio climático.

Aproximadamente 20-30 millones de hectáreas se encuentran seriamente afectadas por la salinidad y se estima que 250-500 mil hectáreas se pierden anualmente para la producción agrícola como resultado del incremento de la salinidad del suelo esto afecta principalmente a las regiones áridas y semiáridas que afectan alrededor de 100- 110 millones de hectáreas de estas regiones (Lamz & Gonzales, 2013).

La aplicación de la tecnología representa una amplia oportunidad para la mejora en el desarrollo agrícola. Esta integración de la tecnología a la agricultura ha creado el concepto de agricultura de precisión. La agricultura de precisión hace referencia a la gestión de parcelas agrícolas o invernaderos mediante la monitorización, el procesamiento y la actuación de la variabilidad inter e intra-cultivo. La agricultura de precisión contribuye a: 1. Combatir las enfermedades epidemias mediante la aplicación de la cantidad y tipo de fertilizante y fumigación 2. Optimizar el consumo de recursos (agua, fertilizantes, etc) y 3. Proporciona un valor añadido a la producción agrícola al general productos más saludables (Guerrero et al., 2017).

De manera similar, como habrá aumentos tanto de temperatura como de CO_2, es preciso desarrollar variedades de cultivos que puedan aprovechar esas condiciones. El progreso logrado en estos enfoques no depende de la mejorar la capacidad de pronosticar detalles sobre lugares específicos en los análisis de impacto. Estas medidas de adaptación dirigida deberían complementarse con el desarrollo de variedades de cultivo con mayor rendimiento y menor impacto y prácticas agronómicas mejoradas, a fin de lograr un aumento en la producción de alimentos. Eso ayudaría a reducir el hambre y, al mismo tiempo, brindaría numerosos beneficios adicionales en términos de biodiversidad y desarrollo sostenible.

Es necesario que la agricultura se vea no sólo desde el punto de vista de su dinámica económica, sino también encamarlo en una cultura social. Se debe valorar como un generador de empleos, motor de desarrollo rural como medio de hacer una ocupación ordenada del territorio nacional.

Pensando en desarrollo de los agricultores, el mantenimiento de los cultivos y el engorroso proceso de riego Smart drip system tiene el propósito de ayudar y facilitar el cuidado de los cultivos generando beneficios como disminuir el consume de agua innecesaria en los riegos del cultivo, la disminución de la mano obra y aumentar la eficiencia del mismo en un 80% (Barrientos et al., 2019a) con el fin de beneficiar a personas que tengas cultivos generando la disminución de costos, el aumento de las ganancias y la generación de empleo.

2. Trabajos relacionados

Una de las propuestas relacionadas es la que surge de la necesidad de plantear soluciones, para optimizar el uso de agua para regadío en plantaciones hortofrutícolas, considerando que es también una herramienta útil para el aprovechamiento de los recursos hídricos que día a día son más escasos, y con ello a aumentar los niveles de producción y la calidad del producto obtenido mediante esta técnica. Esta propuesta pretende facilitar la labor agrícola mediante el control del riego desde una estación central. Este trabajo también se introduce en el mundo de los microprocesadores, tratando conceptos de electrónica, programación y transmisión de señales muy presentes en el mundo de las telecomunicaciones. La adquisición de estos conocimientos es fundamental para realizar un sistema de automatización y telecontrol de sistemas autónomos, logrando servir como punto de partida para posteriores estudios sobre las técnicas de monitorización y telecontrol de este tipo de redes (Martínez, 2016).

El sistema de control que se plantea es con base en la plataforma de programación y automatización Arduino, donde se miden, integran y procesan señales analógicas que conforman el sistema automatizado, y se responde a las necesidades de riego en la finca seleccionada, o de cualquier otra del sector agrícola, donde el abastecimiento de energía eléctrica es escaso, pero donde se dispone de recursos hídrico y solar suficientes para suplir las necesidades, tal como sucede en este caso. Es así como el sistema satisface y regula necesidades (López, García & Bedoya, 2013).

Por su parte, JArduino es un sistema de riego más autónomo y automático, pensado para administrar riego en pequeños jardines o balcones. Dado que el habitante que se encuentra en centros urbanos vive en pequeñas casas con jardines chicos, patios o balcones; esos ámbitos suelen ser los únicos que dispone para entrar en contacto con la naturaleza cultivando plantas ornamentales o mini huertas. Dicho escenario genera la responsabilidad (y el disfrute) de mantener, podar y regar a las plantas, entre otras cosas. Estas tareas deben cumplirse de manera cotidiana, y muchas veces no pueden realizarse, ya sea por un viaje, o incluso por falta de tiempo. El principal problema al cual se deben enfrentar es el riego (Tejada, Rinaudo, Pilla & Palazzo, 2013).

Quiroga et al. (2017) presentaron una propuesta de arquitectura para la agricultura de precisión soportada en tecnologías abiertas de Internet de las Cosas (IoT) para la obtención, monitoreo y análisis de variables climáticas. La propuesta se basa en la estructura de la arquitectura Lambda, considerando diferentes capas como son: la capa de captura de datos, la capa de almacenamiento, la capa de procesamiento, la cual es evaluada mediante pruebas de carga, con el fin de determinar su capacidad y tiempo de respuesta y por último la capa de consulta.

Por otra parte, en el artículo de Berrientos et al. (2019), se da a conocer el estado de arte de los modelos, tecnologías, análisis de términos y conceptos. En la segunda fase se visualiza la definición de los requerimientos funcionales y no funcionales que permiten la virtualización del jardín botánico. La tercera fase es el diseño del esquema interactivo (álbum digital) basado en herramientas tecnológicas como realidad aumentada y realidad virtual, de las diferentes plantas y animales.

De esta manera cabe resaltar que nuestra herramienta de automatización de riego ha tomado como referente a cada una de las investigaciones presentadas como un punto de partida hasta llegar a obtener para el usuario una mejor experiencia frente al riego que utilizan para con sus cultivos, ya que teniendo en cuenta el clima y la salinidad de la tierra este se activa para realizar un riego más efectivo en el momento que el cultivo lo necesita y al ser una herramienta de muy bajo costo esto permitirá reducir los costos y las pérdidas en los cultivos por exceso de riego o falta del mismo.

3. Descripción de Smart Drip System

En esta sección se presenta la descripción de la arquitectura para agricultura de precisión soportada en IoT, la cual se presenta en 2 vistas, a saber: la vista de negocio y la vista funcional.

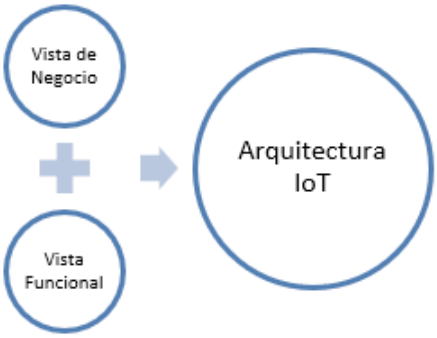


Figura - 1 Vista de la arquitectura para Smart Drip System

3.1. Vista de negocio

En esta vista de negocio presente en la arquitectura propuesta se compone de la capa de captura, capa de almacenamiento, capa de procesamiento y la capa de consulta.

3.1.1. Capa de captura

En la capa de captura se encuentran todos los componentes y módulos para la adquisición de datos como: la salinidad de la tierra, las condiciones climáticas y el pH del cultivo.

3.1.2. Capa de almacenamiento

La capa de almacenamiento está constituida por base de datos y servidores de almacenamiento, donde se almacenarán datos como: la salinidad de la tierra, hectáreas de siembra, condiciones climáticas, pH del cultivo.

3.1.3. Capa de procesamiento

Es aquí donde se extraen los datos almacenados para realizar el debido análisis y obtener la información de interés.

3.1.4. Capa de consulta

Esta capa le permite al agricultor visualizar en tiempo real el comportamiento de las variables de temperatura y humedad.

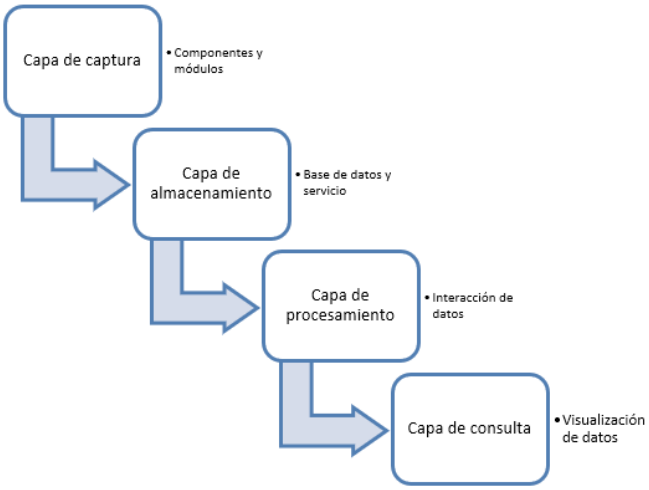


Figura – 2 Vista de negocio de la arquitectura

3.2. Vista Funcional

En esta vista se muestra como está conformada la vista funcional dada en cuatro capas las cuales son recolección, comunicación, gestión y consulta.

Figura – 3 Vista funcional de la Arquitectura

3.2.1. Recolección de datos

La capa de recolección representa el hardware de la plataforma, conformada por los nodos sensores, los cuales contienen un conjunto de sensores y actuadores. En

la agricultura de precisión utilizan diferentes sensores para medir la variabilidad de atributos ambientales (humedad y temperatura del aire, humedad y temperatura del suelo, velocidad y dirección del viento, niveles de pH, CO2, la salinidad del suelo entre otros). Por otro lado, con base en los datos recolectados, la plataforma tiene la capacidad que el usuario puede activar el sistema de riego según la información recolectada por los datos**.**

3.2.2. Comunicación

La capa de comunicación es la que permite la transmisión de los datos recolectados por los nodos de sensores al servicio central de almacenamiento. Los sensores se comunican a través de un solo hilo. El Arduino debe iniciar la comunicación con el DHT11 manteniendo la línea de datos en estado bajo durante al menos 18 ms (milisegundos). Luego los sensores envían una respuesta con un pulso a nivel bajo (para indicar su presencia) de 80 uS (microsegundos) y luego deja "flotar" la línea de datos por otros 80 uS.

3.2.3. Gestión

Esta etapa es responsable de administrar todas las acciones que se ejecutan con base al análisis de los datos recolectados por los sensores. Aquí se implementan varios servicios como: 1. Almacenamiento de información. 2. Análisis de la información. 3. Visualización de los datos. 4. Implementación de interfaz del programa (API), para que el usuario final pueda tener acceso a la información.

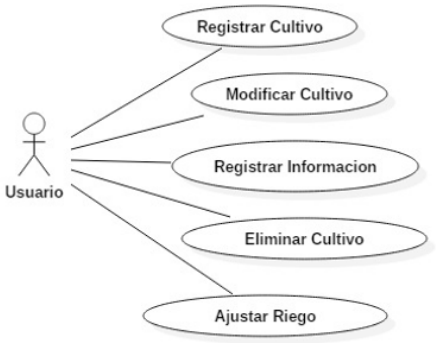


Figura 4 – Modelo de caso de uso, de la interacción del usuario con la plataforma.

3.2.4. Consulta

Esta capa es la responsable de la interacción del usuario final con la plataforma. Toda la información es visualizada mediante la página web dinámica realizada con PHP, HTML, JQuery, mediante el cual el agricultor puede activar los sistemas de la siguiente forma. 1. Manual apagando o encendiendo el sistema en el momento 2. Temporizado los tiempos de activación y apagando el sistema.

A continuación, en la figura 5, se muestra la descripción de la secuencia funcional de la arquitectura implementada.

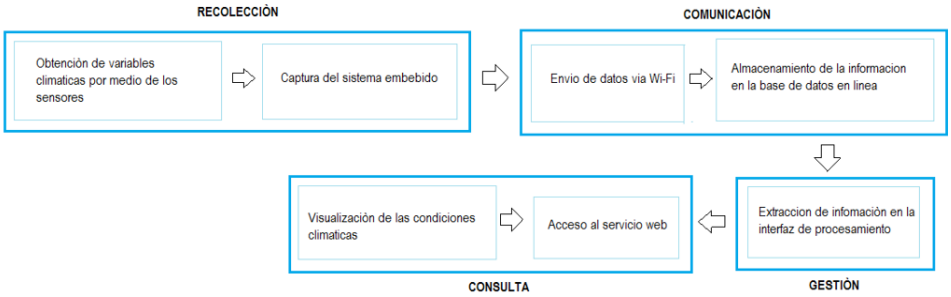


Figura 5 – Secuencia funcional de la arquitectura.

3.3. Diseño del hardware

Teniendo todos los conocimientos previos de las herramientas que facilitará el desarrollo e implementando las buenas prácticas se diseñó, el circuito por el cual se trabajó el sistema de riego Smart Drip System teniendo en cuenta como principal recolector de la información los siguientes componentes:

3.3.1. Node Mcu

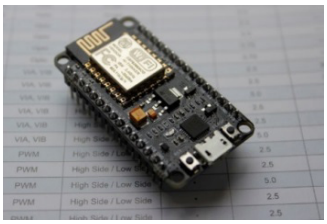


Figura 6 – NodeMcu

El NodeMcu es un kit de desarrollo de código abierto basado en el popular chip ESP8266 (ESP-12E), que utiliza el lenguaje de programación Lua para crear un ambiente de desarrollo propicio para aplicaciones que requiera conectividad Wifi de manera rápida. El ESP8266 es un chip altamente integrado diseñado para las necesidades de un nuevo mundo conectado. Ofrece una solución completa y autónoma de redes Wi-Fi, lo que le permite alojar la aplicación o servir como puente entre Internet y un microcontrolador. El ESP8266 tiene potentes capacidades a bordo de procesamiento y almacenamiento que le permiten integrarse con sensores y dispositivos específicos de aplicación a través de sus GPIOs con un desarrollo mínimo y carga mínima durante el tiempo de ejecución. Su alto grado de integración en el chip permite una circuitería externa mínima, y la totalidad de la solución, incluyendo el módulo está diseñado para ocupar el área mínima en un PCB.

3.3.2. Módulo SD

Figura 7 – Modulo SD

Es un módulo MicroSD (TF) compatible con tarjetas SD TF (comúnmente utilizado en teléfonos móviles), que es la tarjeta más pequeña en el mercado. El módulo SD tiene diversas aplicaciones tales como registrador de datos, audio, vídeo y gráficos. Con este módulo se amplía enormemente la capacidad de memoria del Arduino**.**

3.3.3. Sensor de temperatura y humedad DHT11

Figura 8 – sensor de temperatura y humedad DHT11

Es un sensor digital de Temperatura y Humedad, fáciles de implementar con cualquier microcontrolador. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante y solo un pin para la lectura de los datos.

Tal vez la desventaja de estos es la velocidad de las lecturas y el tiempo que hay que esperar para tomar nuevas lecturas (nueva lectura después de 2 segundos), pero esto no es tan importante puesto que la Temperatura y Humedad son variables que no cambian muy rápido en el tiempo.

Disponen de un procesador interno que realiza el proceso de medición, proporcionando la medición mediante una señal digital, por lo que resulta muy sencillo obtener la medición desde un microprocesador como Arduino.

Este sensor trabaja con un rango de medición de temperatura de 0 a 50 °C con precisión de ±2.0 °C y un rango de humedad de 20% a 90% RH con precisión de 4% RH. Los ciclos de lectura deben ser como mínimo 1 o 2 segundos. (Llamas, 2019).

3.4. Diseño de circuito

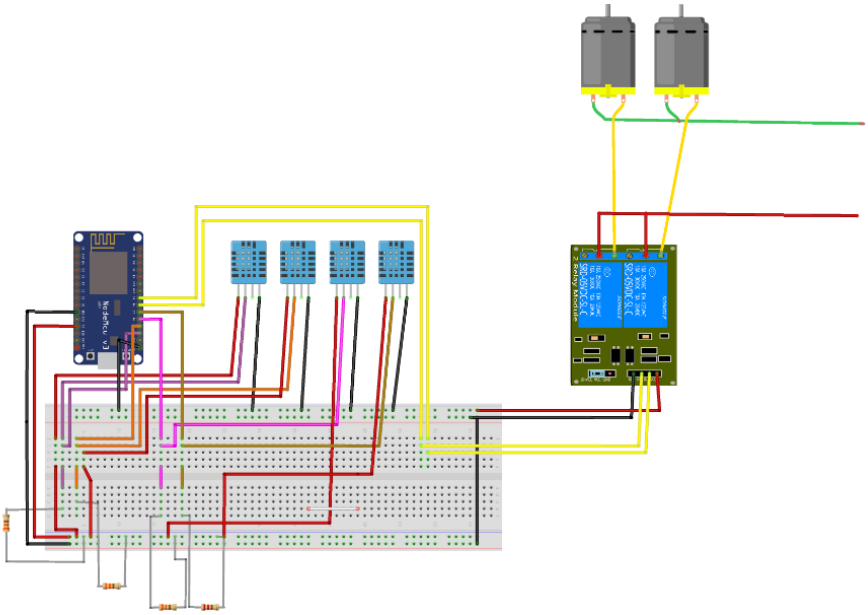


Figura 9 – Diseño del circuito en Fritzing

En el diseño del hardware se hizo necesaria la implementación para el funcionamiento de este de dos motores reductor de 12 V 300 rpm con una fuerza nominal de 1,3 Kg.cm y 4 Kg.cm a máxima eficiencia. Este motor al ser de alta velocidad y destacarse por ser silencioso, por su reducido tamaño y su mínimo consumo, resulta idóneo para la aplicación en la que se necesita una alta velocidad de giro, como en este caso. Adicionalmente, se utilizaron resistencias de un 1k ohm para tener éxito en el uso de las bombas de agua. Las bombas a utilizar pueden ser de dos tipos: "volumétricas" y "turbo-bombas". Todas constan de un orificio de entrada (de aspiración) y otro de salida (de impulsión).

En la figura 9 se visualiza la estructura lógica del circuito del Smart Drip System, evidenciando la integración de cada uno de los componentes que conforman el sistema de riego implementado donde se logra ver que cuenta con cuatro sensores de temperatura y humedad DHT11, un NodeMcu, un módulo SD, dos motores y cuatro resistencias. Así mismo, una vez teniendo toda la implementación en maqueta se procede a la programación del Arduino unificando variables e implementando los componentes necesarios para su funcionamiento. A continuación, se presentan las líneas de código las cuales le dan las funcionalidades adecuadas para un buen diseño y ejecución del mismo presentadas en la plataforma de desarrollo para Arduino, e integrarlas con las plaquetas del NodeMcu.

En la primera etapa del código se definen la SSDI del servidor wifi del ModuleMcu, la contraseña del servidor y otras variables para el desarrollo del mismo, la segunda etapa del código, se parametrizan las variables previamente creadas.

```
PruebaNFinalWifi1.1Copia Arduino 1.6.13
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
PruebaNFinalWifi1.1Copia
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <DHT.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>

#define DHTTYPE DHT11

#define DHTPIN1 2
#define DHTPIN2 0
#define TEMPLIMIT 26

DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);

bool autoRele = false;

int CS_PIN = 15;
const char ssid[] = "NodeMCU-ESP8266";    //Definimos la SSDI de nuestro servidor WiFi -nombre de red-
const char password[] = "12345678";       //Definimos la contraseña de nuestro servidor
float h;
float t;
```

Figura 10 – Primera etapa del código

```
Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
PruebaNFinalWifi1.1Copia §
void ledOff() {
  server.send(200, "text/plain", "Turn off the LED");
  pinMode(16, OUTPUT);
  digitalWrite(16, LOW);
}

void AutoOn() {
  server.send(200, "text/plain", "Automatic Mode On!!!");
  autoRele = true;
}

void AutoOff() {
  server.send(200, "text/plain", "Automatic Mode Off!!!");
  autoRele=false;
}

void setup(void) {


  Serial.begin(115200);
  Serial.print("Connecting to network");
  WiFi.mode(WIFI_AP);
  WiFi.softAP(ssid, password);            //Red con clave, en el canal 1 y visible
```

Figura 11 – Tercera etapa del código

En la figura 11, la tercera etapa del código de Arduino presenta las posibles variables y se establece que la red sea visible. Por último, se programa cómo se debe presentar todos los posibles valores que toman las variables obteniendo estos datos de los sensores de temperatura y humedad, estos siendo capturados para mostrar de manera más amigable en el portal web.

3.5. Diseño de la plataforma web

Ya teniendo el desarrollo para la tarjeta Arduino se pensó un diseño limpio para la plataforma a la cual los usuarios tendrán el acceso a la información capturada por los sensores de temperatura y humedad que trasmitían los datos al NodeMcu con este se realizó la conexión a la dirección ip, la cual mostró datos más que un digito mostrándose como una información plana con la que no se podía tener un fácil entendimiento por parte de los usuarios.

Se presenta una interfaz con un diseño muy simple y transparente donde se presentan diagramas de agujas las cuales tienen movimiento una vez tenga la información de las variables requeridas que corresponde a la Ip del Arduino el cual permite conectarse para conocer el estado de las variables.

Figura 12 – Primer diseño del portal web Smart Drip System

4. Pruebas y resultados

En lo que respecta a la experimentación del prototipo se requirió emplear un cultivo de mora con el fin de poder realizar pruebas pertinentes para buen funcionamiento del sistema de riego y funcionamiento de las bombas de agua. Inicialmente se realizaron pruebas con solo una bomba de agua, donde se ajustaron las variables debido a que el sistema de riego Smart Drip System toma como variables principales la humedad del ambiente y la temperatura del mismo, una vez realizado los ajustes necesarios se implementó un segunda bomba para tener un cubrimiento total del cultivo ajustando las variables por medio de la información que emiten los sensores las bombas de agua se activan para realizar el riego en este caso en específico al ser un cultivo de mora se utilizó un riego de aspersión para tener un cubrimiento del 100% del cultivo.

Figura 13 – Prototipo del cultivo de mora con las bombas de agua.

5. Conclusiones

Con este prototipo se presenta una idea innovadora, debido a que se evidenció que muchos sistemas de riego no presentaban una plataforma web donde se refleje la humedad y la temperatura ambiente y partiendo de esa información realice el riego o no. Por otra parte, el desarrollo de este sistema de riego automatizado representa una gran ventaja para los usuarios que por razones diversas no cuentan con los recursos necesarios para un óptimo riego en sus cultivos.

En virtud de lo anterior, el proyecto que se realizó ha contribuido de manera muy importante para identificar y resaltar los puntos que hay que cubrir y considerar para llevar a cabo un sistema automático de riego. Dentro de los puntos que se puede considerar importantes se destacan el planteamiento del problema identificado, así como las necesidades de las personas que se benefician con este proyecto. No obstante, durante el desarrollo del proyecto se evidencia que se pudo cumplir mayoritariamente con los objetivos propuestos, ya que se ha diseñado un prototipo capaz de simplificar el trabajo a los agricultores mediante un sistema de riego "automatizado", el cual puede suministrar el agua a las plantas de manera uniforme. De esta manera, la implementación del sistema de riego trae consigo beneficios como la reducción de costos al ser una herramienta económica que trabaja con Arduino, una reducción de costos al no realizar sesiones de riego excesivo y al evitar una pérdida del cultivo por exceso de agua o falta de la misma.

Referencias

Barrientos, E., Bautista, D., Coronel L., & Cuesta, F. (2019). Granja Inteligente: Definicion de infraestructuras basadas en internet de las cosas, IpV6 redes definidas por software. *Revista iberoamericana de Sistemas e Tecnologia de la Informacion*, 183–196.

Berrientos, E., A., Rico D., Coronel, L., & Cuesta, F. (2019). Jardín botático: Prototipo de software para la gestion y divulgación de plantas nativas basado en codigo QR y realidad aumentada . *Revista Iberoamericana de Sistemas e Tegnologia de Informacion* , 267–282.

Guerrero, J., Estrada, F., Medina, M. Riveras, M., Alcaraz, J., Maldonado, C, Toledo, D, & López, V. (2017). SGreenH- IoT: Plataforma IoT para agricultura de precisión. *Sistemas, Cibernetica e Informatica*, 14(2), 53–58.

Lamz, A., & Gonzáles, M. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34 (4).

Llamas, L. (2019). *Ingeniería, informática y diseño* [Internet]. Recuperado de: https://www.luisllamas.es/Arduino-dht11-dht22/

López, G., García, F., & Bedoya, J. (2013). Modelo a escala de un sistema de riego automatizado alimentado con energía solar fotovoltaica. *Tecnura*, 17, 33–47.

Martínez, F. (2016). Automatización y telecontrol. *Gnadia*: Universidad Politécnica de Valencia.

Quiroga, E., Jaramillo, S., Campo, W., & Chanchí, G. (2017). Propuesta de una arquitectura para agricultura de precisión soportada en Iot. *Revista Iberoamericana de Sistemas e Tegnologia de Informacion* (24), 39–56.

Tejada, M., Rinaudo, L., Pilla, G., & Palazzo, D. (2013). *JArduino, Sistema de riego manejado por arduinio* [Internet]. Recuperado de: http://www.interorganic.com.ar/josx/Jarduino.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 31/05/2019
Aceitação/Acceptance: 29/07/2019

Sistema Autónomo Colaborativo de Recuperación de Información

Marlena León[1], Juan Carlos Ruiz-Carrera[2]

mleon@uees.edu.ec, jc.ruiz@uta.edu.ec

[1] ESAI Business School, Universidad Espíritu Santo, km. 2.5 vía Samborondón, 092301, Guayaquil, Ecuador.

[2] Universidad Técnica de Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages: 134–144

Resumen: El desarrollo de sistemas autónomos para la recuperación de información cobra auge ante la dificultad que implica la gestión del volumen de información disponible, el que crece exponencialmente en Internet. Este trabajo describe la construcción de un sistema colaborativo de recuperación de información como sistema en que los nodos que lo conforman recuperan, de forma autónoma, información pública disponible en Internet. Como resultado, se evaluó el impacto de la descripción semántica formal en tres niveles de abstracción de la aplicación, dígase: descripción de los recursos de información, performativas de la comunicación entre los nodos e intereses de los nodos del sistema. Así mismo; se validaron medidas de cantidad de información que fueron exitosas en las configuraciones que fueron simuladas.

Palabras-clave: semántica; cantidad de información; actos del habla; sistema colaborativo.

Collaborative Autonomous System of Information Retrieval

Abstract: The development of autonomous systems for the retrieval of information is booming given the difficulty involved in managing the volume of information available, which is growing exponentially on the Internet. This work describes the construction of a collaborative recovery system as a distributed system in which the system's nodes retrieve, autonomously, public information available on the Internet. As result, the impact of formal semantic description on three abstract levels of the software is evaluated, namely: the description of information resources, the communication performatives and the interests of the system nodes. Measures of quantity of information were validated for supporting the autonomous collaboration in simulated configurations.

Keywords*:* semantics; information quantity; speech acts; collaborative system.

1. Introducción

Desde la década del 70 se reconoce que la definición explícita de la semántica es clave para lograr la autonomía de los sistemas de gestión de información (Date, 2003). Sin embargo, no es hasta este siglo, con la propuesta de la web 3.0, que se tiene la ambición de hacer que los datos sean entendibles para los procesos de cómputo que interactúan en Internet (Ahuja & Sivakumar, 2019)

En el contexto del desarrollo de sistemas autónomos, múltiples autores han defendido el uso de la teoría de actos del habla, propuesta por Austin (2005), para la especificación de agentes de software conscientes del contexto en que interactúan (Gomes et al., 2019) (Ahuja & Sivakumar, 2019). Por su parte, el uso de ontologías de dominio ha sido propuesto en diferentes ámbitos relacionados con la gestión del conocimiento para la descripción de entornos específicos del conocimiento (Allani et al., 2016) (Roldán et al., 2018) (García et al., 2019) (Resgui & Mhiri, 2019). Por su parte, la construcción de perfiles de usuario a partir de ontologías web ha encontrado un espacio en el desarrollo de los sistemas de información actuales (Cifariello et al., 2019).

Diferentes propuestas se han centrado en la especificación formal de la semántica de los datos en diferentes perspectivas. El problema que enfrenta el desarrollo de los sistemas autónomos de gestión de información distribuida es precisamente que la semántica de los datos no está explícitamente declarada en las diferentes dimensiones en que se gestiona información en un sistema de este tipo, dígase: dominio del conocimiento en que se gestiona la información, perfil de usuario (sus intereses), y comunicación entre los agentes de software que componen al sistema distribuido.

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los resultados obtenidos tras la construcción de un sistema autónomo colaborativo de recuperación de información en cuyo diseño se tuvieron en cuenta estas tres dimensiones y el uso de métricas de cantidad de información en cuyo valor se basa la decisión del sistema autónomo. El trabajo propuesto se validó de forma experimental con la participación de estudiantes del área de ciencias técnicas, que utilizaron el sistema para compartir los materiales que les permitió crear un ensayo en un tema investigativo asignado a propósito del experimento llevado a cabo.

El artículo se encuentra estructurado en cinco secciones. En la sección 2 se discuten trabajos relacionados y en la sección 3 se presenta la propuesta de sistema autónomo colaborativo propuesto. En la sección 4 se aborda lo referente al experimento llevado a cabo y los resultados de la validación de los resultados obtenido para finalmente arribar a conclusiones en la sección 5.

2. Trabajos relacionados

Gomes et al. (2019) han definido un servicio de descubrimiento denominado QoDisco, definido para ubicar las interfaces requeridas para integrar servicios en un nivel de

abstracción superior en el ámbito de IoT. QoDisco está compuesto por un conjunto de repositorios de descripciones semánticas de recursos a partir de un modelo de información basado en ontologías. En este trabajo, los agentes de software interactúan basados en interacciones del tipo publicación-subscripción, lo que demuestra la aceptación de la teoría de actos del habla de Austin (2005). Sin embargo, el trabajo de Gomes et al. es específico para el ámbito de aplicación de IoT y lo que pretende es permitir la orquestación de servicios. En el caso del trabajo de Maigua et al. (2018), se extendió el modelo de datos basado en una ontología de dominio formalizado por Fernández et al. (2016) para el ámbito de los datos geoespaciales (Maigua et al., 2018). Los autores de este trabajo demuestran la utilidad de la propuesta para la generación automática de reportes cuyos datos provienen de bases de datos relacionales descritas semánticamente con una instanciación de la ontología ViewOnto (Fernández et al., 2016). Sin embargo, en este caso el servicio de datos que se provee está concebido para presentar la información de la mejor manera a las personas y no tiene en cuenta las necesidades de un agente de software.

Por su parte, Maran et al. (2018) defienden la flexibilidad de las ontologías web para la representación formal del conocimiento y los beneficios que estas traen en cuanto al nivel de consciencia del contexto que se logra en los sistemas de información que se basan en ellas. Aplicaciones específicas recientes de las ontologías de dominio abarcan diferentes áreas de aplicación desde la optimización de sistemas de edificios inteligentes (Eddine et al., 2019) hasta la ingeniería de software (Vegetti et al., 2018).

Los aportes de Maran et al. (2018), Eddine et al. (2019) y Vegetti et al. (2018) fundamentan el tomar como premisa del presente trabajo el que el uso de las ontologías web son un soporte aceptado en la actualidad para hacer explícito el conocimiento que se tiene en determinada área de investigación. Sin embargo, sus aportes son también soluciones específicas. No es objetivo de ninguno de los trabajos consultados llevar la gestión de la información al ámbito de procesos autónomos colaborativos.

El presente trabajo propone utilizar las medidas de cantidad de información en sistemas distribuidos que fueron definidas por Fernández et al. (2008) para determinar el nivel de utilidad de la colaboración en un sistema autónomo de recuperación de información. Estas medidas resultan aplicables en el contexto de la construcción del sistema de interés en esta investigación para que los agentes tomen la decisión de cuándo solicitar información y cuándo colaborar con otros agentes.

En cuanto a la usabilidad de los sistemas, el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM, de sus siglas en inglés) es uno de los de mayor aplicación en investigaciones recientes. Este modelo define como criterios de medida la facilidad de uso percibida (PEoU, del inglés *perceived ease of use*) y la usabilidad percibida (PU, del inglés *perceived usefulness*). PEoU se entiende como el grado de esfuerzo que una persona cree que necesita para el manejo de un aplicativo informático y PU como el grado en que una persona cree que hace uso de una tecnología para mejorar su trabajo. Los criterios mencionados se complementan con la medida de la actitud hacia el uso (A, del inglés *attitude toward using*), la intención de uso (BI, del inglés *behavorial intention to use*) y el uso real del aplicativo (Scherer et al., 2018).

En el ámbito de la presente investigación, se decidió utilizar TAM para validar la propuesta de solución teniendo en cuenta la gran aceptación actual de este modelo y la

facilidad de su aplicación e interpretación de los resultados obtenidos. En este sentido, se decidió además adaptar los instrumentos de validación aportados por otros autores (Chintalapati & Daruri, 2017) (Guo et al., 2018) que validaron los mismos y no definir instrumentos propios.

3. Definición del Sistema Autónomo Colaborativo Propuesto

Un Sistema Autónomo Colaborativo (SAC) está concebido a partir de la definición de una ontología de dominio para la especificación formal de la semántica de las áreas del conocimiento de interés. La ontología de dominio se utiliza para instanciar el perfil de cada uno de los usuarios del sistema y para clasificar cada uno de los recursos que se gestionan.

Cada usuario del sistema es representado en un SAC por un agente de software. Cada agente de software del sistema gestiona la recuperación de recursos provenientes del resto de agentes y utiliza la especificación formal del perfil del usuario para identificar los intereses de su representado. La comunicación entre los agentes de software de un SAC tiene lugar utilizando las performativas de actos del habla *request*, *response* e *inform* registrados en un sistema con modelo arquitectónico *blackboard* (Tai et al., 2019).

De esta forma, la semántica de los datos en un SAC queda formalmente definida de forma explícita en tres niveles de abstracción, dígase: descripción de los recursos de información (semánticamente relacionados con términos de la ontología de dominio utilizada), performativas de la comunicación (con una semántica clara formalmente definida en la teoría de actos del habla) e intereses de los usuarios del sistema (con una semántica explícitamente declarada en cada perfil de usuario). La figura 1 representa gráficamente el soporte semántico que posee la arquitectura de software de un SAC a partir del uso de una ontología de dominio y la teoría de actos del habla en la especificación formal de las performativas de comunicación utilizadas.

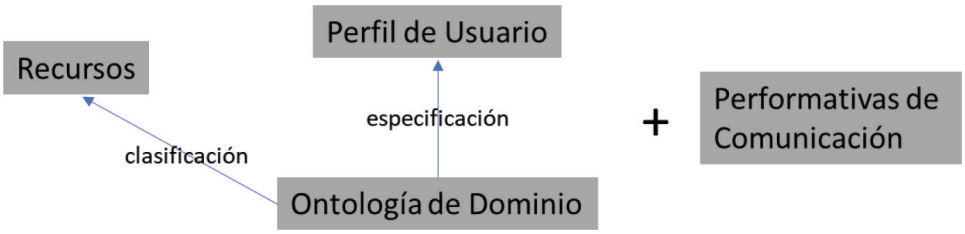


Figura 1 – Soporte Semántico de la Arquitectura de Software de un SAC

La figura 2 ilustra la distribución de contenido en la interfaz que le permite interactuar al usuario final con el agente de software que lo representa en el sistema autónomo colaborativo de recuperación de información.

El comportamiento de los agentes de software que representan a los usuarios de un SAC está determinado por cuatro medidas inspiradas en teoría de la información para caracterizar el nivel de necesidades y satisfacción de los usuarios, que fueron adaptadas del trabajo de Fernández et. al. (2008). A continuación, se formalizan estas métricas.

Figura 2 – Estructuración de la información en la interfaz de usuario

$$I(x) = -\log \frac{|R_x|}{|R|} \tag{1}$$

La medida de cantidad de información representada por la fórmula 1 cuantifica la cantidad de información que aporta en un SAC un recurso clasificado por el término x de la ontología de dominio, siendo R el conjunto de recursos gestionados por el SAC en cuestión y R_x el conjunto de recursos clasificados por el término x de la ontología de dominio.

$$I(x, N) = -\log \frac{|R_{x,N}|}{|R_N|} \tag{2}$$

La fórmula 2 representa la cantidad de información que aporta un recurso clasificado por el término x para un usuario representado por el agente de software N, siendo $R_{x,N}$ el conjunto de recursos gestionados por N y clasificados por el término x mientras que R_N se refiere al conjunto de recursos clasificados por el término x en el agente de software N. De esta forma, la fórmula 1 mide cantidad de información en el sistema y la fórmula 2 lo hace en el ámbito de la gestión de un agente de software en particular dentro del SAC.

También se definieron dos medidas de cantidad de información asociadas a los mensajes enviados entre los agentes de software del sistema. La fórmula 3 representa la cantidad de información que aporta un mensaje informativo con descripción semántica x enviado al agente de información N. $M_{x,I,N}$ se refiere al conjunto de mensajes relacionados con el término x, que tienen performativa *Inform* y que han sido recibidos por N. $M_{I,N}$ se refiere al conjunto de todos los mensajes con performativa *Inform* recibidas por N.

$$I(M_{x,I},N) = -\log\frac{|M_{x,I,N}|}{|M_{I,N}|} \quad (3)$$

Por su parte, la fórmula 4 permite cuantificar la necesidad de recursos con descripción semántica *x* para un agente de software *N*. $M_{x,R,N}$ se refiere al conjunto de mensajes relacionados con el término *x*, que tienen performativa *Request* y que han sido enviados por *N*. $M_{R,N}$ se refiere al conjunto de todos los mensajes con performativa *Request* enviados por *N*.

$$I(M_{x,R},N) = -\log\frac{|M_{x,R,N}|}{|M_{R,N}|} \quad (4)$$

4. Validación de la Propuesta

El desarrollo de un experimento permitió validar la calidad de la recuperación de información en un SAC al utilizar las medidas definidas. A continuación, se describe el diseño experimental y se discuten los resultados obtenidos.

4.1. Diseño del experimento

El experimento se centró en el trabajo colaborativo para la redacción de un ensayo del estado del arte en determinada temática del ámbito de las tecnologías de la información y la comunicación. Se trabajó con una ontología de dominio en el área de tecnología de la información compuesta por 1202 clases y 23567 relaciones entre clases, utilizada en estudios al que se refieren Ahuja & Sivakumar (2019).

Se envió una convocatoria abierta a investigadores que quisieran participar en el experimento y finalmente se concretó el uso experimental de un SAC con un total de 25 usuarios, 7 mujeres y 18 hombres, con edad entre 23 y 45 años. El total de participantes en el experimento validaron que la ontología escogida representaba sus intereses como subconjunto propio del dominio de datos representado.

El experimento tuvo una duración de cuatro semanas. Al concluir el experimento, los investigadores participantes completaron un formulario de aceptación tecnológica basada en el Modelo de Aceptación de Tecnología, que se recoge en la literatura consultada como un método de validación válido en este contexto Chintalapati y Daruri, 2017).

La encuesta incluyó 22 preguntas. En una primera sección (de cinco preguntas) se recuperó información demográfica de los participantes en el estudio. Las preguntas de las cuatro secciones restantes fueron adaptadas de estudios similares de aceptación de tecnología y evaluación heurística en diferentes casos de estudio (Rauniar et al. 2014; Li et al., 2016; Park et al., 2016; Chintalapati y Daruri, 2017). Las preguntas resultantes fueron etiquetadas según el criterio TAM al que responden, tal y como se ilustra en la tabla 1. Las respuestas a estas 17 preguntas se recogieron utilizando escala de Likert con valores desde “no significativo” (1) hasta “significativo en extremo” (5).

Item	Pregunta
a1	Es favorable su actitud hacia el uso del aplicativo informático.
a2	El aplicativo informático es útil para tareas de recuperación de información de fuentes abiertas.
peou1	El manejo del aplicativo informático es fácil.
peou2	El usuario, en poco tiempo, puede convertirse en un experto en el uso del aplicativo.
peou3	El diseño del aplicativo informático facilita su uso.
peou4	Todas las funcionalidades del aplicativo son accesibles.
peou5	Para el manejo del aplicativo informático realiza un gran esfuerzo mental.
peou6	El aplicativo informático muestra de manera clara sus funcionalidades.
pu1	El aplicativo informático mejora su rendimiento profesional.
pu2	El aplicativo informático es útil en su labor profesional.
pu3	Incluiría el uso de este aplicativo informático en su día a día.
pu4	Este aplicativo informático le permitirá aumentar sus conocimientos.
pu5	Con el uso del aplicativo informático tendrá un mayor interés en la recuperación de información de internet.
pu6	El aplicativo informático ayuda a gestionar información.
bi1	De quedar disponible el sistema, lo usaría.
bi2	Tengo intención de utilizar la aplicación para compartir contenido con otros usuarios.
bi3	Tengo intención de utilizar la aplicación

Tabla 1 – Ítems de la encuesta relacionados con los criterios de TAM

La encuesta fue aplicada en un laboratorio de computación, lo que permitió el uso de Google Forms en condiciones controladas. Durante la aplicación de la encuesta se entregó la información necesaria, se aclararon las dudas y se solucionaron las inquietudes que pudieron surgir, sin influir en la respuesta de los participantes en el estudio. Los datos recogidos fueron procesados estadísticamente con ayuda del IBM SPSS Statistics ver. 23.

4.2. Resultados obtenidos

A partir de los datos recolectados, se calculó el Alfa de Cronbach de las respuestas a las preguntas de la tabla 1. El valor de este coeficiente fue de 0,93. Este resultado permitió comprobar la validez interna de los datos recolectados. Se procedió entonces a analizar la correlación entre los ítems de la encuesta para lo que se realizó un análisis de componentes principales (PCA, del inglés Principal Component Analysis). Se utilizó normalización Varimax con Kaiser como método de rotación y la rotación convergió en cuatro iteraciones. Los valores resultantes se muestran en la tabla 2.

Item	Valores PCA			
	1	2	3	4
a1	,178	,132	**,821**	,454
a2	,193	,122	**,868**	-,032
peou1	,375	,223	**,825**	,040
peou2	**,840**	,210	,175	,318
peou3	**,893**	,295	,430	-,332
peou4	**,832**	,180	,181	,025
peou5	**-,851**	-,080	,066	,120
peou6	**,850**	,225	,182	,235
pu1	,042	**,824**	,292	,203
pu2	,001	**,699**	,370	,125
pu3	,574	**,723**	,030	-,020
pu4	,488	**,601**	,096	,438
pu5	,375	**,743**	,065	,206
pu6	,598	**,878**	,270	,415
bi1	,375	,433	-,028	**,750**
bi2	,113	,170	,237	**,897**
bi3	-,065	,548	,640	**,882**

Tabla 2 – Matriz de componentes rotados del PCA aplicado

Del análisis de la correlación entre los ítems que formaron grupos homogéneos, se pudo comprobar que hay correspondencia con los criterios de TAM, lo que le dio validez al estudio realizado. Del mismo modo, los resultados apoyan la idea de que los diferentes criterios de TAM son evaluados satisfactoriamente.

Del cálculo de estadísticos descriptivos a los 17 ítems relacionados con los criterios de TAM y evaluación heurística se desprende que la mediana tiene un valor 4 y el rango intercuartil es 1 para todos los ítems evaluados, lo cual se interpreta como que existe un fuerte consenso en cuanto a la aceptación tecnológica del sistema evaluado.

En la figura 3 se muestra una gráfica del comportamiento del valor de entropía estimado para el funcionamiento del sistema durante el período de simulación. Como se puede comprobar, el valor tiende a un máximo 0,84 de estabilidad del sistema, indicando que las contribuciones entre los nodos son cada vez más significativas en la medida en que el sistema se estabiliza. En la figura 3 se representó el comportamiento de 10 de los agentes de software participantes para ganar en claridad del gráfico. El resto de los agentes se comportó de forma similar. Este resultado corrobora lo obtenido por Fernández et al. (2008) con relación al incremento de la entropía en un sistema con estas características.

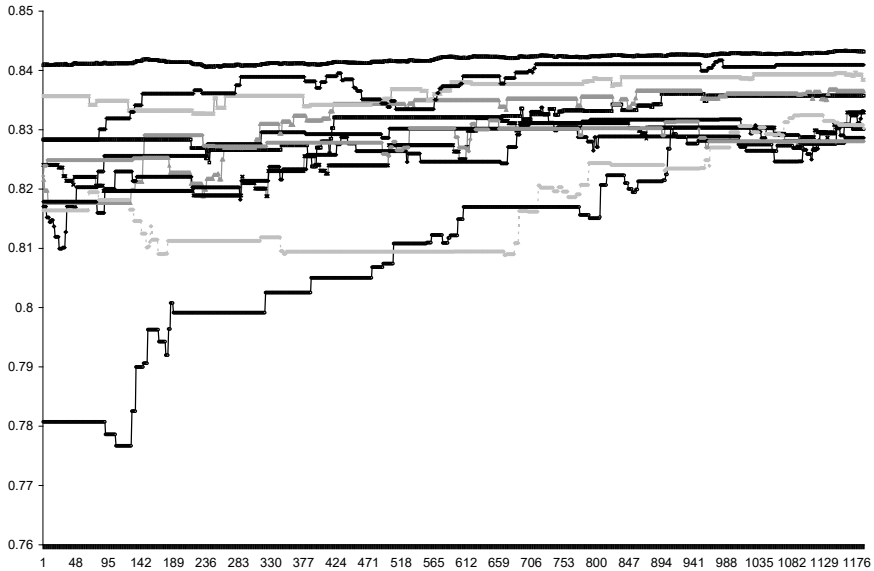


Figura 3 – Comportamiento de la entropía durante la ejecución del experimento.

5. Conclusiones

La construcción de sistemas de gestión de información autónomos es fundamental para el desarrollo de la humanidad inundada por datos procedentes de Internet. Con este trabajo se propone que un sistema de este tipo garantice la gestión de la semántica de los datos en tres dimensiones, dígase: descripción de los recursos de información, performativas de la comunicación entre los nodos e intereses de los nodos del sistema. La validación de los resultados es satisfactoria pero parcial puesto que se logró validar el éxito del uso del sistema para un grupo de usuarios de pequeño tamaño (n=25). Para grupos de mayor tamaño se espera que resulte más difícil la definición de una ontología que responda a sus intereses y se desconoce si el comportamiento del sistema se mantendrá estable.

Agradecimientos

A la ESAI Business School, de la Universidad Espíritu Santo, por permitir la ejecución de esta investigación y a la Dirección de Investigación de la Universidad Técnica de Ambato, la que financió la ejecución del proyecto PCEDIA15.

Referencias

Ahuja, H., & Sivakumar, R. (2019). Implementation of FOAF, AIISO and DOAP ontologies for creating an academic community network using semantic frameworks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(5), 4302-4310. doi: 10.11591/ijece.v9i5.pp4302-4310.

Allani, O., Baazaoui, H., Mellouli, N., & Akdag, H. (2016). A knowledge-based image retrieval system integrating semantic and visual features. *Procedia Computer Science*, 96, 1428–1436.

Ahuja, H., & Sivakumar, R. (2019). Implementation of FOAF, AIISO and DOAP ontologies for creating an academic community network using semantic frameworks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 9 (5), 4302–4310.

Austin, J. (2005). How to do things with words. Cambridge (Mass.) *Harvard University Press*, 2nd edition. ISBN 0-674-41152-8.

Chintalapati, N., & Daruri, V. (2017). Examining the Use of YouTube as a Learning Resource in Higher Education: Scale Development and Validation of TAM Model, *Telematics and Informatics*, 34(6), 853–860.

Cifariello, P., Ferragina, P., & Ponza, M. (2019). Wiser: a semantic approach for expert finding in academia based on entity linking. *Information Systems*, 82, 1–16.

Date, C. (2003). *An introduction to database systems* (8va Ed.). Pearson.

Eddine, H., Zohra, F., & Said, B. (2019). Intelligent context-awareness system for energy efficiency in smart building based on ontology. Sustainable computing: informatics and systems, 21, 212–233.

Fernández-Peña, F., Urrutia-Urrutia, P., Cañete, R., Yañez-Márquez, C., & Nummenmaa, J. (2016). A conceptual data model for the automatic generation of data views. *Applied mathematics and information sciences*. 10 (4), 1331–1342.

Fernández-Peña, F., Willmott, S., & Rosete-Suárez, A. (2008). Un modelo de sistema de gestión documental colaborativo y supervisado para la gestión documental. *Investigación Operacional*, 29 (1), 48–62.

García, A., & Vivacqua, A. (2019). Grounding knowledge acquisition with ontology explanation:A case study. *Journal of Web Semantics*, 57.

Gomes, P., Cavalcante, E., Batista, T., Taconet, C., Conan, D., Chabridron, S., Delicato, F., & Pires, P. (2019). A semantic-based discovery service for the internet of things. *Journal of internet services and applications*. 10 (1).

Guo, R., Shen Y., & Li, L. (2018). Using Social Media to Improve Student-Instructor Communication in an Online Learning Environment, *International Journal of Information and Communication Technology Education*, 14(1), 33–43.

Maigua, A., Pérez-Nata, W., Fernández, F., & Urrutia, P. (2018). Fostering Exploration of Georeferenced Data Semantics for Supporting E-government Initiatives. In Teran L.,Meier A.,Teran L. *5th International Conference on eDemocracy and eGovernment*. (223-228). Ecuador: Springer.

Maran, V., Machado, A., Medeiros, G., Augustin, I., & Palazzo, J. (2018). Domain content querying using ontology-based context-awareness in information systems. *Data & Knowledge Engineering*. 115, 152–173.

Resgui, K., & Mhiri, H. (2019). A semantic web architecture for competency-based lifelong learning support systems. *Advances in intelligent systems and computing*, 923, 438–448.

Roldán, M., Gonnet, S., & Leone, H. (2018). An ontology-based approach for sharing, integrating, and retrieving architectural knowledge. *Electronic notes in theoretical computer science*, 339, 43–62.

Tai, D., Wu, P., & Liu, A. (2019). Development of a User-Interactive Agent Simulation System with the Blackboard Architectural Pattern. *Proceedings - Asia-Pacific Software Engineering Conference*, (pp. 41-48). doi: 10.1109/APSEC.2018.00018.

Vegetti, M., Roldán, M., Marciszack, M., Gonnet, S., & Leone, H. (2018). Ontología para la especificación de casos de uso, casos de prueba y su trazabilidad. *XXI Ibero-American Conference on Software Engineering*.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/06/2019
Aceitação/Acceptance: 19/09/2019

Videogame to Support the Teaching of Reading to Deaf Children using Gamification

Rancés Ramos-Ramirez[1], David Mauricio[1,2]

u201312366@upc.edu.pe, dmauricios@unmsm.edu.pe

[1] Faculty of Engineering, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

[2] AI Group - UNMSM, Lima, Perú.

Pages: 145–157

Abstract: The present work shows the development of an educational videogame of support for the education of deaf children whose objective is to reinforce their literacy. In this videogame, the children interact using the static gestures of the Peruvian sign language, in this way, they complete the levels previously created by the teacher. In addition, gamification elements that seek to encourage the participation and competitiveness of children are used. The use of the videogame in 9 deaf children shows an increase of 22% in the students' grades, and the SUS test, a high usability of 81/100.

Keywords: gamification; educational videogame; sign language; usability.

1. Introduction

The videogame industry has grown over the years to overcome the film and music industry (Marchand & Henning-Thurau, 2013), thus, it has been incorporated in different sectors such as work operations (Marchand & Henning-Thurau, 2013), marketing (Montola et al., 2009) and in education (Lee, 2012).

Recent research has shown that videogames have a positive impact on children's education and that these improve writing and reading depending on the thematic of the videogame (Cano, Arteaga et al., 2015). For deaf children, sign language is their primary language through which they can learn their mother tongue, which is necessary to not have limitations in their language skills (Cano et al., 2015).

In some countries technological alternatives have been developed for the teaching of languages for deaf-mutes, which consider augmented reality, 3d avatars that simulate gestures, gesture recognition gloves, among others; which have shown improvements in the teaching-learning process. However, they do not consider gamification, a concept that creates motivation and interest in the learning process (Bidarra et al., 2015) and that could improve the teaching-learning process even more. In this work, a low-cost videogame is developed for teaching Spanish to deaf children based on gamification, gesture recognition and rote learning.

The article is organized in 5 sections. In section 2, we make a brief review of the literature on video for deaf children, usability in videogames and gamification. The proposed game model is presented in section 3. In section 4, the implementation of the solution is shown. The validation of the proposed videogame is shown in section 5. Finally, the conclusions follow in section 6.

2. Literature Review

2.1. Videogames for Deaf Children

There are several investigations where videogames that support the education of deaf children have been developed. In (Zikky et al., 2017), a videogame is proposed for the teaching of the Indian sign language, where the movement of the hands is used to play. In (Soares et al., 2015), a videogame is made using Kinect to teach Portuguese sign language, where the goal is to promote the teaching of this language to children from 6 to 10 years old. The game has as mechanics to make the child perform the signs of a certain word that indicated the game while progressing in the story. A videogame for the teaching of the sign language of Macedonia, where there was a 3D avatar that made the gestures that the child had to learn is presented in (Bouzid et al., 2016), where it is shown that the inclusion of a 3D avatar improves the teaching quality. In (Bouzis et al., 2015), a tool was created that allowed the teacher to create his own videogame without the need to know about programming. However, the authors of this research found that this method of teaching lacked certain important elements in videogames, such as the visual part, which was not attractive to the players and there were no rewards or competitiveness between these. A videogame of 2D platforms, which contains 3 game mechanics (3D simulation, memorization, exploration and discovery) for sign teaching in Macedonia, is presented in (Ackovska & Kostoska, 2014), which shows that the most successful mechanics is exploration and discovery, that is, the child was finding packages that contained the signs to learn.

2.2. Usability in Videogames

The usability, according to ISO 9126, is the ability of a software to be understood and liked by the user when it is used under certain specific conditions (Xu et al., 2014).

In (Bronner et al., 2015), it is said that usability can be measured by the documentation, help, tutorials and the user interface provided by the application. A methodology to ensure usability in videogames for deaf children, which considers 5 main factors: efficiency, satisfaction, learning ability, memory facility and low percentage of errors, is given in (Cano et al., 2018). In this research it was found that it is important to take the opinions of children and specialists into account, since children have different difficulties when making gestures or when carrying out certain activities, thereby reducing the cases in which children can not play correctly. In (Frutos-Pascual & Zapirain, 2014), a crossword videogame is developed for children with attention problems, which evaluates its usability using the System Usability Scale (SUS), where they obtained a score of 87.11 out of 100. A videogame was developed for the United States Navy, where the usability of this one was tested using the SUS (Chung & Wu, 2017), obtaining a score of 57.95. In (Gonzalez, 2016), a racing videogame was made that used low-cost technologies for wind simulation. In this research the SUS was also used, where they obtained a score of

85 out of 100. In (Pruna et al., 2017), a videogame was developed for the rehabilitation of people with disabilities in their hands, which validated the usability with the SUS, where a score of 79.5 was obtained.

As evidenced by the literature, the SUS is a mechanism widely used to measure usability, so we will use it to measure the proposed videogame.

2.3. Gamification

The gamification in videogames consists of using game elements, such as points, rewards, points ranking, game levels, among others, in order to increase the players participation and motivate them to use the game (Figueroa, 2015). In this investigation, gamification is used to learn a second language, which describes various elements of gamification that can be used in a video game such as scores obtained while playing, rewards for reaching certain objectives, score comparison tables, avatars that represent the user, system of levels, progress bars, among others. This work recommends the five-step model for the gamification of (Huang & Soman, 2013): understanding the needs of the target audience, defining learning objectives and game requirements, structuring the experience, identifying the resources for gamification and applying the elements of gamification. In (Bidarra et al., 2015), an educational videogame is proposed for the Portuguese sign language where gamification is used, and a system of levels is used through which progress is made based on the objects obtained by the player and a scoring system based on the game time.

3. Videogame Model

It is proposed a game model that can be customized by the class teacher, so that he can freely create levels of game that adjusts to the needs of the moment, that is, he can

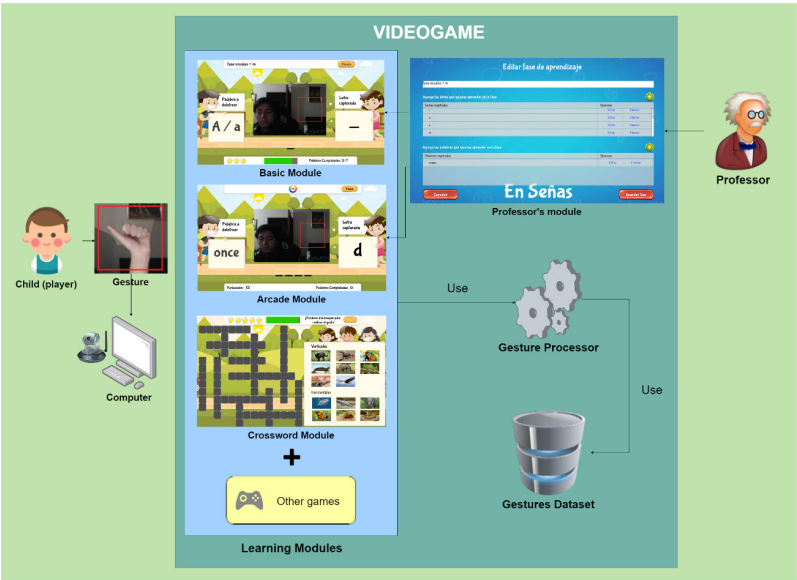


Figure 1 – Proposed Game Model

create games according to the theme that the children require to learn. The model has as components the actors, the basic module, the arcade module, the crossword module, the teacher module and the gestures Peruvian sign language processor. This model can be seen in figure 1.

In order for the model to work correctly, first, the teacher must upload the class subject information corresponding to the basic module through the module of the teacher. The child with hearing disability will learn with the videogame, interacting with the basic module and the game modules. The basic module is intended to reinforce the spelling in the sign language and the reading of words in Spanish, this is done as follows. First, the video game shows the letter or word to spell, and then the child makes the corresponding gesture. Second, the video game captures the image of the gesture by using the webcam and then sends it to the gesture processor. Third, the latter processes the image of the gesture and obtains the spelled letter. Fourth, the spelled letter is shown on the interface, and if it is correct, the child is rewarded. In a similar way, the child interacts with the game modules to reinforce learning, but now in a game context.

3.1. Actors

Deaf children and teachers where the videogame is played are our actors. The teacher is responsible for feeding the game based on the lessons he wants to take in class. The children are the main players, who will have a personal account in which they will keep all their scores and all the medals obtained throughout the use of the videogame.

3.2. Basic Module

This module consists of reinforcing the gestures of sign language and learning, little by little, how words are spelled, thus fulfilling the basic needs of deaf children. The data of this module belongs to the information loaded by the teacher. Using the challenge and sensory immersions, seen in (Kwon & Woo, 2013), the reward-time gamification element was implemented, through which it was sought to slightly pressure the child to fulfill its objective.

3.3. Arcade Module

The arcade module seeks to work the user's memory, giving words to spell until the time runs out. The gamification elements used in this module are score, medals and time limit. With these gamification elements it is sought that children are competitive with each other; thus, they will want to overcome each other while unconsciously working their memory.

3.4. Crossword Module

The crossword module, like the previous module, seeks to work the memory of the child, making him remember the words seen in class sessions. The crosswords of the game are thematic and cover the basic knowledge for children. As elements of gamification, the reward for time was used, where the child starts with 5 medals, which decreases over time.

3.5. Teacher Module

The teacher module is used to upload information, which will allow you to freely design the game levels, both for the learning module and for the arcade module, giving you the facility to create class sessions focused on specific topics.

The teacher is responsible for loading the information of the basic module by using this module. It was taken into account that teachers are allowed to choose the topic to teach and thus create learning phases, which contain letters and words that children will have to spell during the basic game, in such a way that they can cover different topics such as months of the year, the days of the week, among others.

3.6. Gesture Recognizer

This component will be responsible for processing the gesture made by the user, which is received from the videogame. It was taken into account that the teacher, through the use of the gesture dataset, which contains the static gestures of the Peruvian sign language alphabet, obtains the result of the processed gesture, which is returned in response to the videogame. The dataset of gestures, provided by Berrú et al. (2017), contains only 24 letters of the alphabet, where the letters J, Ñ and Z are omitted, since they are represented with dynamic gestures.

4. Videogame: EnSeñas

4.1. Logical Architecture

The logical architecture of the game, showed in figure 2, has two main components: the videogame and the API that contains the gesture processor. Both components work on the Windows 10 operating system. It was thought to work the gesture recognizer as a

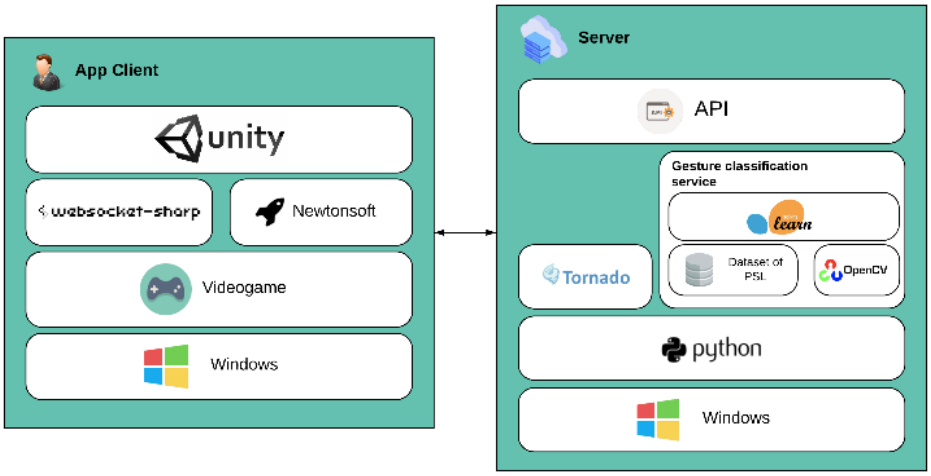


Figure 2 – Logical Architecture of Videogame EnSeñas

separate server, in order to have this in the cloud and user it as a service. The advantage of this is that, if the game starts to be used by several institution, all the game instances could be connected to this server, allowing improvements to the dataset or gesture recognizer, making all game instances be benefited.

4.2. Technologies Used

For the development of the game, Unity v 2017.3.0f3 (64-bit) was used as a game engine, together with C # as a programming language. In addition, we used websocket-sharp to create a websocket client in Unity, allowing us to establish a connection with the gesture recognizer. Also, we used Newtonsoft to format the data type to JSON, which is a lightweight format to transport and store data.

For the gesture recognizer, Python v 3.7 was used, together with the Tornado web framework v 5.1.1 in order to create a websocket server, allowing the gesture recognizer to receive all the videogame requests and responding accordingly. OpenCV was used in the gesture recognizer module to process the images received from the websocket server.

4.3. Development Methodology

For the development of the project, the Scrum methodology was used. For this, a product backlog was made with the tasks to be developed, prioritizing them by importance and difficulty. There were 7 sprints, where the artifacts generated in each one were validated with the association of deaf children who helped us during the investigation.

4.4. Game Modules

User Login

When the game was designed, it was taken into account that it was necessary to keep information of each player, their starts, their attempts, etc. and at the same time, it was necessary to give total control to the teacher, who will need to create game phases. Therefore, a user registration and a login module were created.

Figure 3 – Basic Module Phase Creation Screen

Teacher Module

In the teacher module, it is allowed to create phases or levels of game, which can be edited and eliminated at any time. The phase creation screen varies depending on which module the teacher wants to configure. If it is the basic module, the teacher will be asked to enter letters and words, the latter formed based on the letters added at the same level and at previously created levels. If it is the arcade module, you will only be asked to enter words without restrictions. This phase creation screen can be seen in figure 3.

Basic Module

The game interface is simple, in order not to distract the child while playing. In the interface is shown the word or letter that the child must spell, the stars that the child has and the time it has before losing of the stars. As time goes by, the green bar will decrease until it is empty, where the child will lose his first star, then the green bar will fill up again and continuously until the child runs out of stars. With this, we want to measure how well and quickly the child was able to finish the phase of the game.

Arcade Module

This game module seeks to reinforce the knowledge of the child by spelling words constantly. The child has a time limit to spell the word that is asked, which decreases every second and increases each time a word is finished. A scoring system is managed, which is awarded based on the number of letters of the word that the child spells. Also, stars will be awarded to the child when it reaches a certain score, up to a maximum of 5 stars (see figure 4). It was sought that the teacher can also customize this mode, in such a way that he can create thematic levels of game or of different difficulties. That is why we also created a teacher module to edit the arcade module.

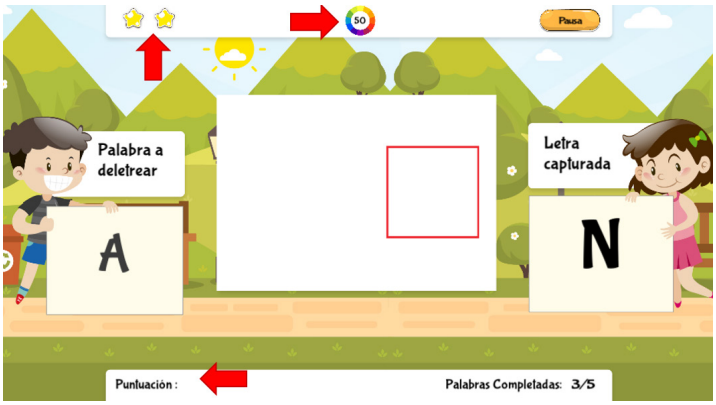


Figure 4 – Arcade Module Play Screen

Crossword Module

In this game module there is a thematic crossword, where the child is presented with several animals, whose images are shown in the initial game interface. These images

can be pressed by the child to begin the spelling of the respective animal. To do this, the initial box of the animal inside the crossword puzzle is lit. In addition, a panel is shown where the image captured by the web camera is captured, the figure of the selected animal and the letter that is detected by the gesture recognizer. This panel can be seen in figure 5. Once the child finished spelling the animal, the figure disappears from the list. The player starts with 5 stars, which decrease as time passes, this mechanics being similar to the basic module. With this, we seek to know the time it takes the child to solve the crossword puzzle, measuring the effort it takes to finish it. This module was created in order to see the impact it has on children, so that, if positive, we can create a personalization of crosswords puzzles in the future.

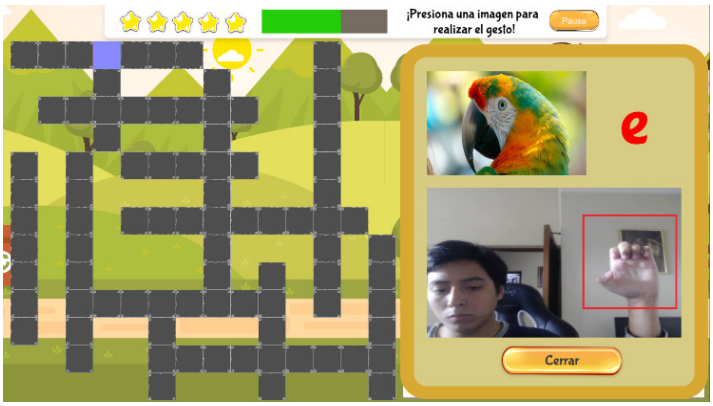


Figure 5 – Crossword Module Play Screen (Camera Panel)

Game Ranking

Each game mode has its own ranking, which is filled from the attempts made by each player. Each attempt is recorded at the end of the game, thus, the game time, the attempt number and the stars obtained are saved. This can be seen in the figure 8. With the implementation of this module, we seek to create competitiveness in children, which is a way to motive them to continue playing, reinforcing their knowledge. It is important to keep the record of each attempt per child, because it is a measure of the improvement that has been throughout the game at that level.

5. Validation

Game sessions were conducted to test how effective the proposed videogame is in the learning process, in addition, System Usability Scale was used to measure its usability.

5.1. Experiment

The validations and tests of the videogame were made in the ENSEÑAS PERÚ association, in a class with 9 children between the ages of 8 to 12 years, as we can see in figure 6. The children in the class to be tested had difficulty learning the names of the months of the year, of which 4 out of 9 children got a passing grade.

Figure 6 – Childs Playing EnSeñas Game During Experiment

5.2. Learning Effectiveness

A normal class session of 2 hours on the writing in Spanish of the months of the year for the 9 deaf children was made. Then the knowledge test was taken to measure what was learned from each student, as seen in table 1, which is calculated from the correct writing of the months. Then there were two sessions of the use of videogames in the classroom, in the first session there was a brief explanation of the videogame and its operation, and each child was allowed to play 8 minutes twice in the arcade mode. In the second session, each child was allowed to play 8 minutes in arcade mode and crossword mode. At the end of the second session of the game, the knowledge test was again taken, where the notes shown in table 1 were obtained.

The use of the videogame helped the children to memorize the writing of some months of the year. As can be seen in Table 1, there was an average increase of 2.37 points in the evaluation note taken after two sessions of videogame use.

5.3. Usability

The SUS is a 10 questions questionnaire where the user's experience of the game is evaluated, and where he was asked to answer on a scale from totally disagree to totally agree (1 - 5) (Lewis & Sauro, 2009).

The teacher was invited to know and use the videogame in the three videogame modules and the teacher's module, in a period of 30 minutes.

At the end of the knowledge test, the evaluation of usability was carried out through the SUS, for this, the teacher asked the questions in both Spanish and sign language to all participating children, who answered the questionnaire for each question. The results of the SUS for the children and the teacher are shown in table 2.

Person	First Evaluation	Second Evaluation
Child 1	11.62	14.94
Child 2	13.28	14.94
Child 3	20	20
Child 4	16.6	18
Child 5	9	3
Child 6	6.4	8.3
Child 7	11.62	14.94
Child 8	0	4.98
Child 9	18.26	20
Average	10.86	13.23
SD	7.37	5.96

Table 1 – Results of the Test of the Months of the Year

Person	SUS	(x-mean)	(x-mean)^2
Child 1	82.5	1.5	2.25
Child 2	77.5	-3.5	12.25
Child 3	82.5	1.5	2.25
Child 4	85	4	16
Child 5	77.5	-3.5	12.25
Child 6	75	-6	36
Child 7	82.5	1.5	2.25
Child 8	82.5	1.5	2.25
Child 9	77.5	-3.5	12.25
Teacher	87.5	6.5	42.25
Mean	81		
SD			3.94

Table 2 – Usability Results of SUS Evaluation

An 81 of 100 points was obtained (M = 81, SD = 3.94), which, compared to past research, it can be said that the game has a good usability.

6. Conclusions

In this work we introduce a videogame model that uses gamification and image processing for the teaching of Spanish to deaf children, as well as its implementation through a videogame that includes a teaching module with three videogames, a teacher module to load teaching topics and a gesture recognizer.

The use of the videogame in 10 children shows an improvement in the learning process, which is reflected in the 22% increase of the average grade. In addition, the SUS usability test shows that the game has a usability of 81/100, above many videogames of the literature.

Acknowledgement

The authors thank the Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), for the partial funding of the present investigation, the ENSEÑAS PERÚ association, and Bryan Berrú, for providing us their Peruvian sign language gestures dataset.

References

Ackovska, N., & Kostoska, M. (2014). Sign language tutor — Rebuilding and optimizing. *37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, Opatija. Croacia: IEEE.

Berru-Novoa, B., Gonzalez-Valenzuela, R., & Shiguihara-Juarez, P. (2018). Peruvian sign language recognition using low resolution cameras. *2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*. doi:10.1109/intercon.2018.8526408

Bidarra, J., Escudeiro, P., Escudeiro, N., & Barbosa, F. (2015). Game design of content: assessing a project for learning sign language. *EDULEARN 2015 - 7th International Conference*, Barcelona. España.

Bouzid, Y., Khenissi, M. A., & Jemni, M. (2015). Designing a game generator as an educational technology for the deaf learners. *2015 5th International Conference on Information & Communication Technology and Accessibility (ICTA)*. doi:10.1109/icta.2015.7426914

Bouzid, Y., Khenissi, M. A., & Jemni, M. (2016). The effect of avatar technology on sign writing vocabularies acquisition for deaf learners. *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. doi:10.1109/icalt.2016.127

Bronner, S., Pinsker, R., & Adam Noah, J. (2015). Physiological and psychophysiological responses in experienced players while playing different dance exer-games. *Computers in Human Behavior, 51,* 34–41. doi:10.1016/j.chb.2015.04.047

Cano, S., Arteaga, J. M., Collazos, C., & Amador, V. B. (2015). Aplicación móvil para el aprendizaje de la lectoescritura con Fitzgerald para niños con discapacidad auditiva. *Anais Dos Workshops Do IV Congresso Brasileiro De Informática Na Educação (CBIE 2015)*. doi:10.5753/cbie.wcbie.2015.240

Cano, S., Arteaga, J. M., Collazos, C. A., & Amador, V. B. (2015). Model for analysis of serious games for literacy in deaf children from a user experience approach. *Proceedings of the XVI International Conference on Human Computer Interaction - Interacción 15*, Vilanova i la Geltru. España: ACM.

Cano, S., Collazos, C. A., Aristizábal, L. F., Gonzalez, C. S., & Moreira, F. (2018). Towards a methodology for user experience assessment of serious games with children with cochlear implants. *Telematics and Informatics, 35(4),* 993–1004. doi:10.1016/j.tele.2017.09.011

Chung, S.-M., & Wu, C.-T. (2017). Designing music games and mobile apps for early music learning. In *Serious Games and Edutainment Applications (pp. 57–75).* doi:10.1007/978-3-319-51645-5_3

Figueroa, F. (2015). Using gamification to enhance second language learning. *Revistes Científiques de la Universitat de Barcelona*. Retrieved from: http://revistes.ub.edu/index.php/der/article/view/11912

Frutos-Pascual, M., & Zapirain, B. G. (2014). Guided crossword-puzzle games aimed at children with Attentional Deficit: Preliminary results. *2014 Computer Games: AI, Animation, Mobile, Multimedia, Educational and Serious Games (CGAMES).* doi:10.1109/cgames.2014.6934137

Gonzalez, J. (2016). Una propuesta metodológica para la gamificación de pruebas psicométricas. Un caso práctico. *Congreso Ambiental Sobre Soluciones en Ingenieria Ambiental, Ingenieria de Software y Salud Electrónica y Móvil*, 1(1), 71–78. Retrieved from: https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1300

Huang Hsin Yuan, W., & Soman, D. (2013). A practitioner's guide to gamification of education. *Research Report Series: Behavioral Economics in Action*. University of Toronto –Rotman. School of Management.

Kwon, C., & Woo, T. (2013). A research on gamification methodology for korean language education. *Journal of Korea Game Society, 13(1),* 61–74. doi:10.7583/jkgs.2013.13.1.61

Lee, J. (2012). Study on the successful case of gamification and its application to e-Book, *Policy Industrial Graduate School, Sookmyung Women's University*, 2012.

Lewis, J. R., & Sauro, J. (2009). The factor structure of the system usability scale. *Human Centered Design Lecture Notes in Computer Science, 94-103*. doi:10.1007/978-3-642-02806-9_12

Marchand, A., & Hennig-Thurau, T. (2013). Value creation in the video game industry: industry economics, consumer benefits, and research opportunities. *Journal of Interactive Marketing, 27*(3), 141–157. doi:10.1016/j.intmar.2013.05.001

Montola, M., Stenros, J., Waern, A., Pervasive games: theory and design. *Morgan Kaufmann Publishers*, 2009. doi:10.1201/9780080889795

Pruna, E., Acurio, A., Escobar, I., Albiol, S., Zumbana, P., Meythaler, A., & Álvarez, F. (2017). 3D Virtual System Using a Haptic Device for Fine Motor Rehabilitation. *Advances in Intelligent Systems and Computing Recent Advances in Information Systems and Technologies*, 648–656. doi:10.1007/978-3-319-56538-5_66

Soares, F., Esteves, J. S., Carvalho, V., Lopes, G., Barbosa, F., & Ribeiro, P. (2015). Development of a serious game for Portuguese Sign Language. *2015 7th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*. doi:10.1109/icumt.2015.7382432

Xu, J., Ding, X., Huang, K., & Chen, G. (2014). A pilot study of an inspection framework for automated usability guideline reviews of mobile health applications. In *Proceedings of the Wireless Health 2014 on National Institutes of Health - WH '14*. doi:10.1145/2668883.2669585

Zikky, M., Hakkun, R. Y., Rizqi, A. F., Hamid, A., & Basuki, A. (2017). Development of educational game for recognizing indonesian sign language (SIBI) and breaking down the communication barrier with deaf people. *2017 21st International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*. doi:10.1109/icsec.2017.8443936

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/05/2019
Aceitação/Acceptance: 23/07/2019

Creando un juego serio educativo mediante un enfoque de diseño centrado en el usuario

Mayra Carrión[1,2], Belén Quispi[1], Santiago Lema[1], Marco Santorum[1,2], Jose Aguilar[3]

mayra.carrion@epn.edu.ec, mbaqs1994@gmail.com, santylema8@gmail.com, marco.santorum@epn.edu.ec, aguilar@ula.ve

[1] Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

[2] Grupo de Investigación de Sistemas de Información, Gestión de la Tecnología e Innovación.

[3] Centro de Estudios en Microelectrónica y Sistemas (CEMISID), Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Pages: 158–170

Resumen: Los juegos serios (JS) se utilizan en diversas áreas, como la educación, la salud, la publicidad y las comunicaciones. Los juegos constituyen excelentes dispositivos educativos; es por esto que proponemos un juego serio parametrizable que permite reforzar los conocimientos adquiridos en un salón de clases. Con el objetivo de garantizar que un JS cumpla con las expectativas de un usuario, este debe ser diseñado mediante una metodología adecuada a su contexto, centrada en el usuario y que incluya en su enfoque diversos expertos en diseño de juegos. El objetivo de este trabajo de investigación es presentar el desarrollo de un juego serio educativo parametrizable como un caso de estudio de la metodología iPlus para el diseño de JS, que se basa en la idea anterior. iPlus permite la concepción de JS educacionales, basada en un enfoque participativo y centrado en el usuario.

Palabras-clave: Juegos serios; diseño centrado en el usuario; ingeniería de software.

Creating a serious educational game through a user-centered design approach

Abstract: Serious games (SG) are used in various areas, such as education, health, advertising and communications. Within the subset of serious games that are used in the field of education, a parametrizable serious game is proposed that allows to reinforce the knowledge acquired in a classroom. To ensure that a SG meets the expectations of a user, it must be designed using an appropriate methodology, which is focused on the user and includes experts in pedagogy and game design. The objective of this research work is to present the development of a serious educational game that can be parameterized as a case study of iPlus, a methodology for the design of SG, which is based on the previous idea. iPlus allows the conception of educational SG, based on a participatory and user-centered approach.

Keywords*:* Serious games; participative approach; serious games methodology.

1. Introducción

Hoy en día las Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) se han convertido en una parte importante de nuestra vida. La mayoría de las actividades humanas ahora se llevan a cabo con la ayuda de soluciones TIC. Las tecnologías de la información y la comunicación se empiezan a configurar como una herramienta imprescindible en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El concepto de formación ha evolucionado por la aparición y consolidación de las TIC. En particular, la utilización de técnicas basadas en Juegos Serios (JS) en las aulas favorece el desarrollo de habilidades y destrezas, ya que permite aprovechar los aspectos motivacionales que generan los videojuegos, pero con un propósito distinto al de solamente entretener, pudiendo tener este propósito un fin educativo (Alvarez, 2007; Alvarez, 2018).

De acuerdo con Álvarez (2007), los JS son una asociación de aspectos pedagógicos con lo recreativo de los videojuegos. Por ello, esta asociación está destinada a desviarse del simple entretenimiento. Los JS en los últimos años han evolucionado rápidamente, sobre todo en ámbitos como la educación, donde se pueden encontrar trabajos investigativos aplicados en diferentes contextos apreciando con ello los efectos positivos que estos generan a la hora de enseñar (Bizarro, Luengo, & Carvalho, 2018; Martinez & Guillén-Guerrero, 2018; Nieto, López, & Montenegro, 2018).

Es importante también analizar que, en algunos ámbitos educativos aún se utilizan técnicas basadas en la trasmisión de conocimientos de manera pasiva. Por ejemplo, profesores que hacen uso solamente de técnicas de enseñanza con un marcador, pizarra y borrador, técnica educativa muy útil, pero que en muchos casos no genera la motivación necesaria en los estudiantes y en el mismo profesor para que el proceso de enseñanza sea exitoso.

Tomando en cuenta que una de las causas del fracaso académico es la falta de motivación en los estudiantes, se propone el uso de juegos serios en el aula, debido a la efectividad de estos para desarrollar motivación en los estudiantes, como se demuestra en (Andrea & Medina, 2015), facilitando con ello el aprendizaje de procesos complejos y generando una participación activa del estudiante en su proceso educativo.

Aun así, es importante destacar que no cualquier JS con un propósito educativo puede ser exitosamente empleado en cualquier ámbito. Existen estudios que demuestran que la falta de un correcto diseño del JS puede acarrear resultados negativos. Por ejemplo, en (Padilla, 2011), el autor demuestra que existen juegos serios con fines educativos que no motivan al estudiante en su aprendizaje, debido a que no permiten que estos experimenten un proceso de inmersión y motivación similar al que experimentan con los videojuegos comerciales. En otros casos, algunos autores (Prieto & Medina-Medina, 2015) explican que los JS mal diseñados pueden generar violencia, agresión o exclusión social, y así promover actitudes individualistas, que pueden causar excitación, llevando a sus usuarios a sufrir un “autismo electrónico”. En esto radica la importancia de concebir adecuadamente los juegos serios para el ámbito educativo.

En este documento, se propone una metodología como referencia para el diseño de JS que incorpora un enfoque participativo, flexible y centrado en el usuario, adaptable a usuarios con capacidades cognitivas no estándar (Carrión, Santorum, Peréz, & Aguilar, 2017), y

se ilustra su aplicación con la construcción de un juego serio educativo parametrizable para el reforzamiento de conocimientos adquiridos previamente en clases.

Esta metodología se distingue de las demás debido a la participación de expertos, como pedagogos, psicólogos educativos, expertos en la temática a ser reforzada, ingenieros de software y diseñadores de juegos que crean y diseñan JS adaptados a las necesidades específicas de las personas. Los jugadores crean y comparten experiencias con expertos, por lo que se tienen en cuenta las habilidades del usuario y las necesidades reales.

El resto de esta investigación se divide en cuatro secciones: la Sección 2 describe la metodología propuesta, presentando sus fases, recursos y resultados de la aplicación de iPlus para el desarrollo de la aplicación web. En la sección 3 se ilustra el resultado de la implementación de la aplicación web y su evaluación en cuanto a usabilidad. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones y perspectivas desarrolladas como resultado de la investigación.

2. Desarrollo de un juego serio educativo parametrizable utilizando la metodología iPlus

En esta sección se describe la metodología iPlus y cada una de las fases involucradas en el diseño del juego serio educativo parametrizable.

El caso que se ilustra a continuación mediante la aplicación de la metodología iPlus, consiste en un JS parametrizable para la enseñanza del estándar BPMN orientado a estudiantes que se encuentren cursando o hayan aprobado un curso de la temática de "Gestión de Procesos Organizacionales".

iPlus es una metodología desarrollada para el diseño de JS (Carrión, Santorum, Aguilar, & María, 2019; Carrión et al., 2017). Presenta un enfoque participativo centrado en el usuario, ofreciendo una fase para el levantamiento de requerimientos a través de la participación activa de varios expertos, como, por ejemplo, expertos pedagógicos, expertos en la temática a ser reforzada y/o expertos en diseño de juegos. Usando iPlus, las historias del usuario pueden ser obtenidas y luego implementadas por el equipo de desarrollo mediante la aplicación de cualquier metodología de desarrollo de software, aunque un enfoque ágil es deseable, constituyéndose entonces en la entrada para la fase de desarrollo.

La metodología iPlus consta de cinco fases, como se describe en la Figura 1.

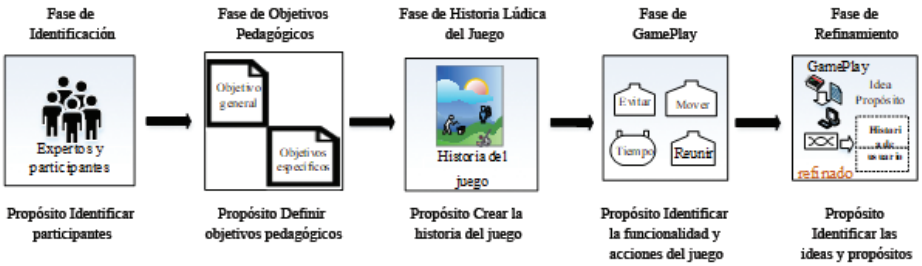


Figura 1 – Fases de la metodología iPlus

2.1. Fase 1: Identificación.

Corresponde a la fase inicial de la metodología, donde la parte interesada aborda el requerimiento general. El objetivo de esta fase es definir los expertos que deben participar en la concepción inicial del juego serio educativo.

Resultado de la Fase de Identificación. Como resultado de esta fase se identifican los actores que participan en la concepción del JS. Para el desarrollo del JS educativo presentado en el presente trabajo se requiere de un experto en la temática del juego, un experto pedagógico, un experto en diseño de videojuegos, un experto en psicología educativa, dos desarrolladores, y un estudiante (ver Figura 2).

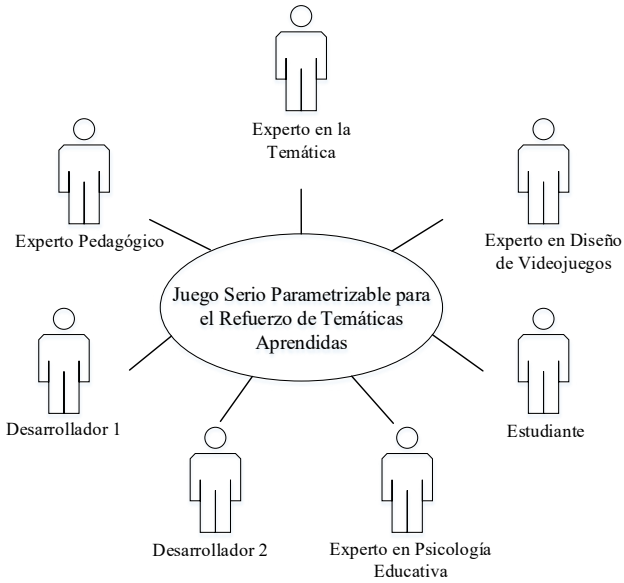


Figura 2 – Actores resultado de la fase de identificación

2.2. Fase 2: Objetivos pedagógicos.

En esta fase se definen los objetivos pedagógicos mediante la participación de todos los expertos y bajo la responsabilidad del experto en pedagogía.

Los materiales usados en esta fase son el cuestionario de requerimientos, marcadores de varios colores, post-its de color naranja y rosa, papelógrafo, plantilla de definición de objetivo general, plantilla de definición de objetivos específicos.

El protocolo seguido comprende las actividades: (1) Entrevista al experto en la temática para comprender las necesidades a ser cubiertas; (2) Redacción de propósitos deseados para cubrir las necesidades del experto en la temática, con la ayuda de los post-its de color naranja; (3) Agrupar los propósitos individuales dentro de propósitos generales; (4) Establecer los objetivos generales y específicos.

Resultado de la Fase de Objetivos Pedagógicos. Con la ayuda de los propósitos generales, el equipo de expertos describe el objetivo general y los objetivos específicos (ver Figura 3), bajo la guía del experto pedagógico. Para el caso de estudio que se presenta se obtuvo lo detallado a continuación.

Objetivo general

Desarrollar habilidades y destrezas cognitivas mediante el uso de una aplicación web para facilitar el aprendizaje de procesos complejos.

Identification PP
1,2,3,4,5

Número de objetivo específico: 3 Rol en el juego: estudiante

Experto: Experto pedagógico Título del objetivo: uso de la aplicación Web

Descripción: (¿QUIÉN? ¿QUÉ? ¿PARA QUÉ?)
El estudiante a través del uso de la aplicación web resolverá diversos desafíos que le permitirán reforzar los conocimientos adquiridos en el aula de clase.

Ideas relacionadas (Post-it de color naranja)

Resolución de desafíos

Reforzar conocimientos

Figura 3 – Descripción del objetivo general y objetivos específicos

2.3. Fase 3: Historia Lúdica del Juego

Historia - Escenario

Historia
Una ficha empieza en el propedéutico y va avanzando en su camino siempre que el participante / jugador resuelva correctamente los desafíos que se le presenten hasta llegar al final, correspondiente a la graduación.

Fichas
- Poliburger
- Polilibro
- Polibalón
- Poliperro
- Polibus
- Polipapas

¿Cómo se gana el juego?
En modo multijugador completando el camino desde el propedéutico hasta la graduación y en modo individual resolviendo todos los niveles.

Elementos de gamificación

Puntos:
Son asignados de acuerdo con el número de respuestas correctas al finalizar un desafío.

Insignias:
Corresponden a las estrellas que indican el mayor puntaje obtenido en cada nivel.

Desafíos:
Resolución de preguntas.

Niveles:
División en tres niveles, de acuerdo con la dificultad de cada tipo de desafío:
- Nivel básico, intermedio y difícil
  Desafíos de opción múltiple, emparejar y voltear.

Figura 4 – Historia del juego

En esta fase se crea la historia del JS en base a los requerimientos del experto en la temática. La participación de cada experto es importante pues cada uno puede conceptualizar diferentes escenarios del JS, manteniendo el objetivo general definido en la fase anterior. El experto en la temática selecciona las mejores ideas propuestas para la historia mediante stickers de color verde, mientras que las ideas que podrían presentar dificultad se las identifica con stickers de color rosa.

Luego, con las ideas seleccionadas, los participantes y el experto en la temática crean la historia del JS, que contiene la narrativa, personajes y elementos de gamificación (insignias, puntos, premios, que serán implementados en el JS (Kiryakova, Angelova & Yordanova, 2014; Zichermann & Cunningham, 2011).

Los materiales usados en esta fase son: marcadores de varios colores, bloques de gamificación, plantilla de la historia, plantilla de selección de historia, stickers de color verde y color rojo.

El protocolo seguido comprende las siguientes actividades: (1) Narración de las posibles historias del JS; (2) El experto en la temática evalúa las historias y las etiqueta con los stickers de color verde y color rosa; (3) Creación de la historia del JS usando la plantilla de selección de historia, con ayuda de todos los participantes.

Resultado de la Fase de Historia Lúdica del Juego. Como resultado de esta fase, se define la historia para el JS con ayuda de todos los expertos. La Figura 4 ilustra el resultado obtenido para el caso de estudio presentado en el presente trabajo.

2.4. Fase 4: GamePlay

El objetivo de la fase de GamePlay es identificar las funciones/acciones que van a ser desarrolladas por los personajes en la historia del juego serio. Adicionalmente, se define el género del JS, pudiendo ser: rol, aventura, simulación, razonamiento, estrategia y/o acción (Jolivalt, 1994). Todos los expertos, incluido el experto en diseño de videojuegos, participan en la creación del guion del Gameplay, mismo que se refiere a la descripción de las acciones a desarrollarse en el escenario del JS. Los bloques GamePlay se refieren al diseño de funciones que son parte del JS, por ejemplo, funciones como: recoger, activar, gestionar, crear (Alvarez, 2007, 2018; Djaouti, Alvarez, & Jessel, 2011).

Los materiales usados en esta fase son: marcadores de varios colores, bloques de GamePlay, plantillas GamePlay, stickers en forma de estrella, post-its de color verde, géneros de videojuegos.

El protocolo seguido comprende las siguientes actividades: (1) Descripción de las funciones a ser desarrolladas usando los bloques de Gameplay, tomando en cuenta la historia del JS, creada con la participación de todos los expertos; (2) Selección del género del JS, con ayuda del experto en diseño de videojuegos, (3) Descripción de los términos clave del JS.

Resultado de la Fase de GamePlay. La Figura 5 ilustra el resultado obtenido de la fase GamePlay. Cada experto, utilizando los bloques de GamePlay define las acciones que van a ser implementadas en la historia del JS. Por ejemplo, para el caso de estudio presentado, se muestra la utilización de los bloques Mover, Responder y Tener suerte.

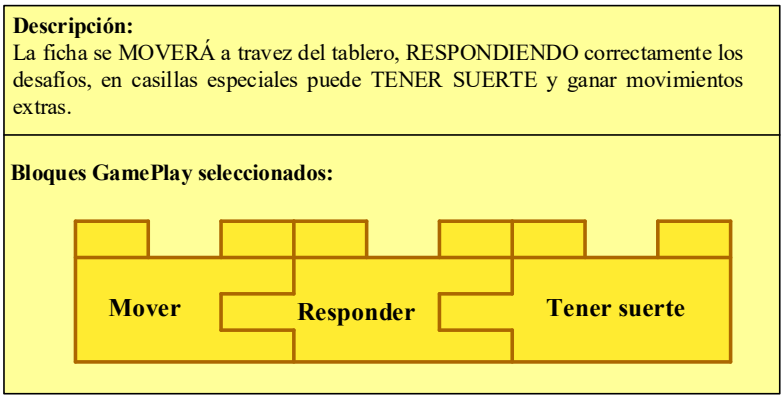


Figura 5 – Descripción de funciones con los bloques de GamePlay

Luego, los expertos votan por el género del JS usando los stickers con forma de estrella. En el caso de estudio, el género elegido fue Razonamiento y las palabras claves propuestas en los post-its de color verde fueron: divertido, tablero, opción múltiple, emparejar, voltear y responder.

2.5. Fase 5: Refinamiento

En esta fase, los documentos o ideas generadas anteriormente son filtrados, para eliminar aspectos repetitivos o que no sean posibles de crear. Para esto, se utiliza un cuestionario modificado para la evaluación de requerimientos. Los responsables de esta actividad son los desarrolladores y el experto en la temática. El resultado de esta etapa son las historias de usuario épicas, que son definidas de acuerdo con los objetivos específicos, y la relación con cada uno de los post-its naranjas obtenidos en la segunda fase.

Los materiales usados en esta fase son el cuestionario de evaluación de requerimientos, y la plantilla de historias de usuario.

El protocolo seguido comprende las siguientes actividades: (1) Verificación de propósitos generados en la segunda fase; (2) Verificación de la plantilla de GamePlay para asegurar la factibilidad de su ejecución; (3) Organización de una reunión con el experto en la temática para validar si todo lo obtenido es suficiente para la implementación; (4) Desarrollo de las historias de usuario épicas.

Resultado de la Fase de Refinamiento. En esta fase se obtienen las historias de usuario épicas, un ejemplo de las historias de usuario épicas definidas para el caso de demostración se muestra en la Tabla 1. La historia de usuario contiene una descripción de la funcionalidad esperada, la prioridad de la historia y los criterios de aceptación de esta.

Con esta etapa se concluye la metodología iPlus, generando el documento general de diseño del JS, generándose en el insumo de entrada de cualquier enfoque de desarrollo de software para la creación de juegos.

Historia de Usuario	**HU06-03**
Título	Avance en el tablero
Descripción	El participante, en el tablero de la aplicación web, avanzará para ganar la partida.
Prioridad	1
Criterios de Aceptación	1. El participante tendrá que lanzar el dado, al activarse el botón correspondiente cuando tenga el turno. 2. La aplicación permitirá visualizar la animación del dado que muestra el número de movimientos de la ficha. 3. La aplicación permitirá visualizar el movimiento de la ficha por el tablero de acuerdo con el número obtenido en los dados.

Tabla 1 – Historia de usuario

3. Un juego serio educativo parametrizable aplicado a la enseñanza del estándar BPMN

En esta sección se presenta el resultado del diseño concebido con iPlus. El juego serio parametrizable que consta de desafíos permite a los usuarios reforzar los conocimientos adquiridos acerca de la temática BPMN. A través del uso de desafíos, se motiva a los participantes a reforzar los conocimientos que fueron impartidos en el aula de clase, teniendo como resultado un mejor dominio de los conocimientos adquiridos.

El JS educativo parametrizable está orientado a la web; fue desarrollado utilizando Node.js y se encuentra publicado en la dirección www.polhibou.com. El juego es parametrizable porque permite crear nuevas temáticas para su funcionamiento a través del módulo facilitador. Actualmente, el JS está parametrizado con la temática BPMN y consta de dos módulos: el módulo de facilitador en el cual se parametriza la temática que será usada en el juego, y el módulo del participante donde se puede acceder a los modos del juego con los desafíos planteados a partir del cuestionario parametrizado.

Figura 6 – Módulo del facilitador

Desde el módulo de facilitador se parametriza el contenido que se presentará en los desafíos de cada modo del JS. Se inicia con la creación de la temática, el ingreso, edición y eliminación de las preguntas de opción múltiple y de las imágenes con sus respectivos textos, y la creación de una partida multijugador (ver Figura 6).

Los modos del JS son: individual y multijugador en tiempo real. Cada uno de los modos de juego consta de tres desafíos: opción múltiple, voltear y emparejar. En el módulo del participante, se puede acceder en el modo individual, donde el usuario puede resolver los diferentes desafíos presentados por niveles de dificultad. También se accede al modo multijugador en tiempo real, donde se debe ingresar el código de la partida creada por el facilitador y posteriormente, ingresar a la misma. En el modo multijugador, donde varios jugadores pueden competir entre sí, se crean los jugadores y se selecciona el ícono que le representa (ver Figura 7).

Figura 7 – Creación de partida multijugador

Una vez iniciada la partida (ver Figura 8), cada uno de los jugadores lanza el dado y se le presenta un desafío de acuerdo con el color de la posible casilla a la cual se moverá el jugador. El jugador que llegue primero a la casilla final gana el juego.

Figura 8 – Partida multijugador

Adicionalmente, la aplicación ofrece un módulo de resultados y estadísticas, en el cual el jugador puede ver el resultado de participación (ver Figura 9) y el facilitador por otro lado puede visualizar los participantes que han resuelto los desafíos de sus temáticas, y el número de veces que las preguntas fueron acertadas o no dentro de los desafíos presentados.

Figura 9 – Tabla de resultado de participación individual

El juego serio se evaluó en cuanto a su usabilidad / facilidad de uso, mediante la encuesta propuesta por IBM en (Lewis, 2009) conocida como Computer System Usability Questionnaire (CSUQ). Dicha encuesta consta de 19 preguntas y cada una de ellas es valorada en una escala de 1 a 7, donde 1 significa estar totalmente en desacuerdo y 7 estar totalmente de acuerdo con la pregunta correspondiente. La encuesta fue aplicada a 38 estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional. Para definir el número mínimo de participantes, se utilizó la fórmula propuesta por Murray (Spiegel, Schiller & Srinivasan, 2013), teniendo en cuenta que el tamaño de la población era de 60 estudiantes, el nivel de confianza igual a 90% y un error del 10%, se obtuvo una muestra igual a 32 participantes. Luego de aplicar la encuesta y analizar los resultados se concluye que el sistema es usable, puesto que las preguntas "En general, estoy satisfecho con lo fácil que es usar este sistema" y "En general, estoy satisfecho con este sistema" (Ver Figura 10 izquierda) tuvieron una aceptación mayor al 78%. Esto implica que los estudiantes mostraron un alto nivel de satisfacción con el sistema.

Finalmente, para validar si el JS ha producido un efecto positivo en los estudiantes participantes, se revisó el módulo de estadísticas incluido en el mismo. A partir de este módulo se obtuvo la calificación promedio de cada intento por estudiante. Por ejemplo, se observa que el puntaje del intento 1 del desafío de opción múltiple en la dificultad fácil para un estudiante es de 3 estrellas. Luego, el puntaje del intento 4 para el mismo estudiante es de 5 estrellas. Este comportamiento es constante para la mayoría de los participantes, tal como lo ilustra la Figura 10 derecha. Aquí se observa que el promedio de todos los estudiantes para el intento 1 es de 3.4 estrellas, para el 2 es de 3.8 estrellas,

para el 3 es de 4.2 estrellas y finalmente, el intento 4 es de 4.6 estrellas. Se evidencia una mejora del 25.20% entre el primero y cuarto intento.

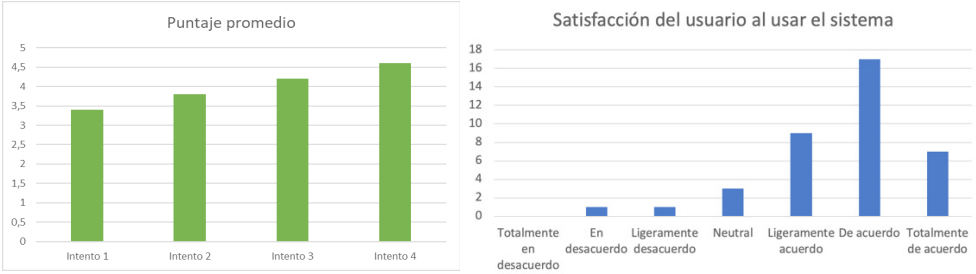


Figura 10 – Resultados de la evaluación de usabilidad y rendimiento individual

Los resultados mostraron plena satisfacción por parte de los usuarios pero, sobre todo, se evidencia el cumplimiento del objetivo en cuanto a la motivación para aprender la temática.

4. Conclusiones

iPlus es una metodología para el diseño de juegos serios que toma en cuenta el concepto básico de un JS propuesto por Zyda (historia, arte y tecnología) y añade el componente pedagógico, el GamePlay y elementos de gamificación. La metodología iPlus fue tomando forma mediante varios protocolos experimentales en los que participaron expertos en distintas áreas del conocimiento que validaron la metodología en sus distintas fases.

En este artículo se ilustra la creación de un juego serio educativo parametrizable aplicado a la enseñanza del estándar BPMN. Este juego permitió validar la metodología propuesta y su efectividad para generar juegos serios que se utilizan como apoyo del proceso de enseñanza aprendizaje en el aula.

La metodología y el juego serio generado permiten a los estudiantes reforzar los conocimientos obtenidos en el aula de clase, ya que se ofrece una inmersión similar a la de los videojuegos, sin perder de vista el aspecto pedagógico que implica la adopción de los conocimientos.

Como perspectiva del trabajo, se propone generar aplicaciones móviles del juego serio propuesto, para asegurar una mayor usabilidad de este. También, se propone utilizar una metodología de evaluación de usabilidad enfocada en videojuegos o juegos serios y otra para determinar la efectividad del JS.

Referencias

Alvarez, J. (2007). *Du jeu vidéo au serious game*. (Spécialité science de la communication et de l'information), Université TOULOUSE II - Toulouse le Mirail Université. Retrieved from http://ja.games.free.fr/These_SeriousGames/TheseSeriousGames.pdf

Alvarez, J. (2018). *Approche atomique du jeu vidéo : Briques Gameplay 3.0. Analyse du lien entre le travail et la créativité par la médiation du jeu View project Blue Bot View project*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/329428375

Andrea, A., & Medina, S. (2015). *El uso de juegos digitales serios como apoyo al aprendizaje*. (Magíster en Educación Superior: investigació e innovaciones pedagógicas), Universidad Casa Grande, Guayaquil, Ecuador.

Bizarro, N., Luengo, R., & Carvalho, J. L. (2018). Roamer, un robot en el aula de educación infantil para el desarrollo de nociones espaciales básicas. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, *28*, 14–28. https://doi.org/10.17013/risti.28.14-28

Carrión, M., Santorum, M., Aguilar, J., & María, P. (2019). iPlus methodology for requirements elicitation for serious games. In *Iberoamerican Conference on Software Engineering* (pp. 1–14).

Carrión, M., Santorum, M., Peréz, M., & Aguilar, J. (2017). A participatory methodology for the design of serious games in the educational environment. In *Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria (CONIITI)* (pp. 2–6). Colombia: 2017 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria (CONIITI).

Djaouti, D., Alvarez, J., & Jessel, J. P. (2011). Classifying serious games. *Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games*, (January 2016), 2–21. https://doi.org/10.4018/978-1-60960-495-0.ch006

Jolivalt, B. (1994). *Les jeux vidéo*. France: presses universitaires de France. Retrieved from http://jeuxvideotheque.com/les-jeux-video/

Kiryakova, G., Angelova, N., & Yordanova, L. (2014). Gamification in education. *Asbbs American Society of Business and Behavioral Sciences*, *21*(1), 32–39. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10208-5

Lewis, J. R. (2009). Computer usability satisfaction questionnaires : psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, (December 2012), 37–41. https://doi.org/10.1080/10447319509526110

Martinez, O., & Guillén-Guerrero, G. (2018). Tecnologías de la información y la comunicación e innovación tecnológica en la educación básica. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 1–13.

Nieto, Y., López, J., & Montenegro, C. (2018). Gestión de correspondencia física a través de aplicación móvil y códigos QR. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 201–213.

Padilla, N. (2011). *Metodología para el diseño de videojuegos educativos sobre una arquitectura para el análisis del aprendizaje colaborativo*. Universidad de Granada. Retrieved from http://hera.ugr.es/tesisugr/20058287.pdf

Prieto, R., & Medina-Medina, N. (2015). Videojuegos serios en educación infantil y primaria. *Congreso Español Sobre Metaheurísticas, Algoritmos Evolutivos y Bioinspirados*, (pp. 479–486).

Spiegel, M., Schiller, J., & Srinivasan, R. (2013). Probabilidad y estadística. *McGraw-Hill*.

Zichermann, G., & Cunningham, C. (2011). *Gamification by design implementing game mechanics in web and mobile apps*. (M. Treseler, Ed.). Canada: Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472. O'Reilly.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 20/06/2019
Aceitação/Acceptance: 30/09/2019

Construcción de recursos educativos para la temática de accesibilidad en el curso de interacción humano computador

Gabriel Elías Chanchí G.[1], Patricia Acosta Vargas[2], Wilmar Yesid Campo M.[3]

gchanchig@unicartagena.edu.co, patricia.acosta@udla.edu.ec, wycampo@uniquindio.edu.co

[1] Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B - 192, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

[2] Universidad de las Américas, Av. de los Granados E12-41y Colimes, 170125, Quito, Ecuador.

[3] Universidad del Quindío, Cra. 15 Cll 12 norte, 630004, Armenia, Colombia.

Pages: 171–183

Resumen: Una de las necesidades esenciales de los docentes en las diferentes áreas del conocimiento es contar con recursos educativos que les permitan apropiarse de las diferentes asignaturas. En este sentido, surgen herramientas de autoría que permiten el diseño y la generación de actividades educativas, a través de esquemas prediseñados por el software, que son personalizados y adaptados por el profesor a las diferentes necesidades de los temas tratados en el aula. En este artículo proponemos la generación de dos recursos educativos para el curso de interacción humano computador y específicamente sobre el tema de la accesibilidad; para ello, utilizamos las herramientas de autoría JClic y Ardora. Generamos estos recursos para contribuir a la comprensión del alcance de los cuatro principios de accesibilidad web NTC5854 basados en las Web Content Accessibility Guidelines 2.1. Finalmente, evaluamos los recursos generados a través de una inspección de usabilidad con los principios de Pinelle.

Palabras clave: accesibilidad; herramientas de autoría; NTC 5854; recursos educativos; WCAG 2.1.

Construction of educational resources for the subject of accessibility in the course of human- computer interaction

Abstract: One of the essential needs of teachers in different areas of knowledge is to have educational resources that allow them to appropriate different subjects. In this sense, authoring tools emerge that allow the design and generation of educational activities, through schemes pre-designed by the software, which are personalized and adapted by the teacher to the different needs of the subjects dealt with in the classroom. In this article we propose the generation of two educational resources for the man-machine interaction course and specifically about accessibility; for this, we use the authoring tools JClic and Ardora. We generate these resources to contribute to the understanding of the scope of the four principles of web accessibility NTC5854

based on the Web Content Accessibility Guidelines 2.1. Finally, we evaluate the resources generated through a usability inspection with the Pinelle principles.

***Keywords**:* accessibility; authoring tools; educational resources; NTC 5854; WCAG 2.1.

1. Introducción

Una de las grandes necesidades de los docentes de diversas áreas del conocimiento, es contar con recursos educativos que posibiliten la apropiación de diferentes temáticas en el aula (UNESCO, 2017). Por otro lado, la construcción de recursos específicos y personalizados suele ser un proceso complejo, puesto que no todos los profesores cuentan con las habilidades en el manejo de un lenguaje de programación. No obstante, en los últimos años han surgido un conjunto de herramientas dirigidas a no programadores, las cuales permiten la construcción de recursos educativos al hacer uso de enfoques de programación orientada a eventos. Dentro de estas herramientas, es posible destacar algunas como Construct, GDevelop, GameMaker, Stencyl, entre otras, las cuales permiten crear de manera sencilla escenarios gráficos, para luego definir el comportamiento de los objetos que componen dichos escenarios mediante eventos (Mera et al., 2018). Aunque estas herramientas no están basadas en el uso de lenguajes de programación, es esencial contar con ciertas habilidades básicas de programación que dificultan el proceso de generación para docentes de áreas ajenas a la ingeniería.

En este orden de ideas, se han desarrollado distintas herramientas de autoría, las cuales permiten a profesores de diferentes áreas del conocimiento, el diseño y generación de actividades educativas, al usar esquemas prediseñados proporcionados por el software, los cuales pueden ser personalizados y adaptados por el docente a diferentes necesidades de las temáticas abordadas en los cursos y de los estudiantes. Entre las ventajas de este tipo de herramientas se destacan: la facilidad para la generación de recursos educativos, el tiempo reducido que se puede emplear en la creación de los recursos, y finalmente, la facilidad para exportar los recursos generados a diferentes plataformas (Violini & Sanz, 2016).

Dos de las herramientas de autoría libres más difundidas son JClic y Ardora. JClic incluye 16 tipos de actividades, dentro las que están: asociación simple, asociación compleja, pantalla de información, actividad de exploración, actividad de identificación, juego de memoria, puzzle doble, puzzle de intercambio, entre otras. Por su parte Ardora, permite producir 45 tipos de actividades agrupadas en: juegos de palabras, actividades con sonido, actividades de clasificar, de relacionar, de completar, tests, esquemas, actividades de ordenar, de seleccionar, actividades con gráficos y estadísticas, unidades de medida, cálculo, geometría y páginas multimedia (Tárraga & Colomer, 2013).

En este artículo se propone como aporte la generación de dos recursos educativos para los cursos de interacción humano computador, y de manera más específica en la temática de accesibilidad web. La accesibilidad web hace referencia a la posibilidad de que personas en situación de discapacidad visual, auditiva, física, cognitiva, del habla entre otras, puedan percibir, entender, navegar e interactuar con los contenidos de un sitio web (World Wide Web Consortium, 2018). Aunque la accesibilidad web propenda

por el desarrollo de sitios web inclusivos, actualmente gran cantidad de sitios y aplicaciones web presentan barreras de accesibilidad, al generar una brecha tecnológica en el uso de la web, que sólo podrá ser resuelta en la medida que las organizaciones gubernamentales le den mayor importancia a este tema y que la industria del software conciba la accesibilidad como un atributo de calidad del software (Da Silva, Costa, Rocha, & Holanda de Paiva, 2018; Pérez, Vidal, & Chanchí, 2018). Los recursos propuestos en este artículo fueron generados con el propósito de apoyar el aprendizaje en los cursos de interacción humano computador en cuanto a los principios de accesibilidad de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5854 (ICONTEC, 2011), la cual es una adaptación de la Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 propuesta por el consorcio W3C (World Wide Web Consortium, 2018; Idrobo, Idrobo, Chanchí, & Vidal, 2017). En este sentido con el fin de evaluar qué tan fáciles de usar pueden resultar los recursos educativos generados para los estudiantes de los cursos de interacción, se hizo uso de un método de inspección por parte de usuarios expertos.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se presenta la metodología empleada para el desarrollo de esta investigación; en la sección 3 se presenta un conjunto de conceptos aplicados en el desarrollo de la investigación; en la sección 4 se presenta un conjunto de características de accesibilidad consideradas para el diseño de los recursos; en la sección 5 se describen los recursos educativos construidos mediante JClic y Ardora; en la sección 6 se presenta la evaluación de usabilidad realizada a los recursos generados; finalmente, en la sección 7 se presentan las conclusiones y trabajos futuros derivados de la presente investigación.

2. Metodología

Para el desarrollo de la investigación propuesta, aplicamos las siguientes fases a saber (ver Figura 1): obtención de características de accesibilidad, selección de herramientas de autoría, construcción de recursos educativos y evaluación de los recursos. A continuación se describe lo abordado en cada una de las fases metodológicas consideradas.

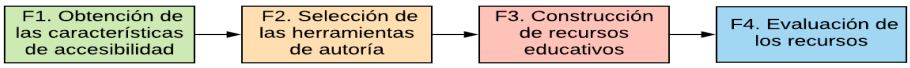


Figura 1 – Metodología propuesta

Fase 1 – Obtención de características de accesibilidad: En esta fase, se realizó la exploración de los principios y pautas de la NTC 5854, con el fin de identificar un conjunto de características de accesibilidad asociadas a los principios de la NTC 5854 y de WCAG 2.1.

Fase 2 – Selección de herramientas de autoría: En esta fase, se exploraron las herramientas más difundidas de autoría JClic y Ardora. Con el fin de evaluar las potencialidades de estas herramientas en la construcción de un recurso educativo para la identificación de los principios de accesibilidad de la NTC 5854 y de WCAG 2.1.

Fase 3 – Construcción de recursos educativos: A partir de las características de accesibilidad definidas en la fase anterior, se procedió con la generación de dos recursos educativos para la distinción de principios de accesibilidad, para lo cual usamos JClic y Ardora.

Fase 4 – Evaluación de los recursos: Los recursos educativos generados mediante las herramientas JClic y Ardora fueron evaluados mediante un método de inspección de usabilidad, teniendo en cuenta los diez principios heurísticos de usabilidad propuestos por Pinelle.

3. Marco Conceptual

En esta sección se incluye un conjunto de conceptos relevantes que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del presente trabajo. Dentro de estos se encuentran: Herramientas de autoría, Accesibilidad web, la WCAG 2.1 y de la NTC 5854.

3.1. Herramientas de autoría

Corresponden a programas informáticos que facilitan el diseño de actividades educativas al usar esquemas prediseñados por el propio software, y que el docente puede personalizar y adaptar a las características y necesidades de los cursos y de los estudiantes. Además, un profesor que utilice este tipo de programas de autor podrá diseñar una sopa de letras, un crucigrama o un juego de memoria con el nivel de dificultad, contenido y características que desee, con la posibilidad de modificar las actividades en función de los estudiantes con los que vaya a desarrollar dichas tareas. Es así como el docente podrá incluir, en las tareas, mensajes, imágenes y audios propios, sin necesidad de hacer uso de un lenguaje de programación. Entre las ventajas con las que cuenta una herramienta de autoría se destacan: la facilidad de uso, la posibilidad de diseñar recursos educativos en un tiempo corto, la posibilidad de exportar los recursos generados a diferentes plataformas (Tárraga & Colomer, 2013).

3.2. Accesibilidad Web

La accesibilidad universal es aquella condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad, comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. En el contexto de la web, la accesibilidad hace referencias a que personas con algún tipo de diversidad funcional puedan acceder de manera adecuada a los diferentes contenidos de la web (World Wide Web Consortium, 2018). En concreto, la accesibilidad web hace referencia a un diseño que permite que estas personas puedan percibir, entender, navegar e interactuar con la web, aportando a su vez contenidos. La accesibilidad web también beneficia a otras personas, incluyendo personas de edad avanzada que han visto mermadas sus habilidades a consecuencia de la edad (Acosta-Vargas, Acosta, & Lujan-Mora, 2018). En este sentido, la accesibilidad Web engloba varios tipos de diversidades funcionales, incluyendo problemas visuales, auditivos, físicos, cognitivos, neurológicos y del habla (World Wide Web Consortium, 2018).

3.3. Norma Técnica Colombiana NTC 5854

La NTC 5854 aborda la accesibilidad web y tiene por objetivo promover que el contenido de los portales web sea accesible. Esta norma fue desarrollada a partir de las pautas de accesibilidad para contenido web (WCAG) 2.1 propuesta por W3C (ver Figura 2) y contempla cuatro principios: perceptible, operable, comprensible y robusto (Mayol, Nadal, & Coll, 2011). Esta norma pretende que el contenido de la web sea accesible a personas con distintas diversidades funcionales, permitiendo que estas pueden percibir, entender, navegar, interactuar y contribuir con los sitios web. No obstante, es esencial destacar que la accesibilidad beneficia a todos los tipos de usuarios que visiten el sitio web, pues permite que los contenidos se presenten y adecuen a sus limitaciones o diversidades funcionales .

En el principio perceptible, la información y todos los componentes de la interfaz de usuario deben presentarse a los usuarios, de modo que ellos puedan percibirlos. En el principio operable, los componentes de la interfaz de usuario y la navegación deben ser sencilla de operar. En cuanto al principio comprensible, la información y el manejo de la interfaz de usuario deben ser fáciles de entender para el usuario. En lo que respecta al principio robusto, el contenido debe poderse interpretar de forma fiable para una amplia variedad de aplicaciones de usuario (Pérez et al., 2018).

4. Características de accesibilidad consideradas

En esta sección se presentan un conjunto de características de accesibilidad, las cuales fueron adaptadas a partir de las pautas asociadas a los cuatro principios de la norma NTC 5854 (perceptible, operable, comprensible, robusto) (ICONTEC, 2011; Chanchí, Idrobo, & Vidal, 2017). Estas características fueron consideradas en los dos recursos educativos propuestos en este artículo, los cuales están basados en asociaciones de texto (ver Tabla 1).

Id	Pauta	Principio
CP1	Los contenidos de video del portal cuentan con subtítulos.	Perceptible
CP2	El portal web cuenta con mecanismos para ampliar el tamaño de la fuente del texto.	
CP3	Los contenidos de video del portal web cuentan con interpretación en lenguaje de señas.	
CP4	El contenido no textual del portal web debe contar con una alternativa textual	
CO1	Las diferentes páginas del portal cuentan con un encabezado o título que describe el contenido presentado	Operable
CO2	Las diferentes funcionalidades del contenido del portal, pueden ser accedidas y accionadas mediante el teclado	
CO3	Las animaciones cíclicas presentadas en el portal pueden ser pausadas, detenidas o ocultadas	
CO4	Los diferentes formularios del portal web tienen el foco visible	

Id	Pauta	Principio
CC1	El portal web cuenta con mecanismos para identificar la correcta pronunciación de palabras ambiguas	Comprensible
CC2	El portal web presenta ayuda contextual ante las diferentes tareas realizadas por el usuario	
CC3	En caso de presentar un error en la entrada de datos, el portal presenta sugerencias para corregirlo	
CC4	El portal web cuenta con un mecanismo para identificar la pronunciación de las palabras inusuales o de jerga	
CR1	Las etiquetas HTML de las páginas web del portal están bien formadas	Robusto
CR2	El contenidos del portal web se adapta a diferentes dispositivos	
CR3	El contenido de la web puede ser accedido adecuadamente sin instalar plugins adicionales	
CR4	Los contenidos multimedia provistos por el portal son reproducidos de manera adecuada en diferentes dispositivos	

Tabla 1 – Características de usabilidad definidas

5. Recursos educativos construidos

Para la construcción de los recursos educativos en el área de la interacción humano computador y de manera específica en la temática de la accesibilidad, usamos las herramientas de autoría JClic y Ardora. Los recursos educativos construidos se centraron en la idea de apoyar a los estudiantes del área de la interacción humano computador en cuanto a la diferenciación de los cuatro principios de accesibilidad considerados en la NTC 5854 basada en la WCAG 2.1.

5.1. Recurso educativo usando JClic

A través del uso de las actividades predefinidas por la herramienta JClic, se diseñó y construyó un juego en la modalidad de asociación de palabras. El juego de asociación consta de dos matrices, la primera de cuatro filas y cuatro columnas, mientras que la segunda es de cuatro filas y una columna. En la primera matriz, se almacenan un conjunto reducido de características que deben incluir los portales web para ser considerados accesibles, mientras que en la segunda matriz contiene los principios de la NTC 5854 a los que están asociados esas características. Una vez se definen las características de accesibilidad en la primera matriz y los principios de accesibilidad en la segunda matriz, JClic permite al diseñador del recurso asociar gráficamente mediante flechas los elementos de la matriz de la izquierda que se relacionan con la matriz de la derecha. En este caso las flechas de la Figura 2 permiten conectar las características de accesibilidad con los principios de la NTC 5854.

Adicionalmente, JClic permite personalizar los textos y colores de las matrices, así como vincular imágenes asociadas a cada una de las celdas de cada matriz. Del mismo modo es posible definir un tiempo limitado para ejecutar la actividad, incluir el puntaje y los aciertos, así como personalizar los mensajes que el usuario puede visualizar al momento de acertar o fallar en el proceso de asociación (ver Figura 2). Asimismo, la herramienta

JClic, permite la inclusión de efectos de sonido a las diferentes acciones que realiza el usuario, así como la posibilidad de exportar el recurso al formato SCORM (compatible con diversos entornos virtuales de aprendizaje) y en forma de página web usando HTML5. Esto permite que los recursos puedan ser utilizados en el contexto de un objeto virtual de aprendizaje o ser incluidos en un portal web educativo.

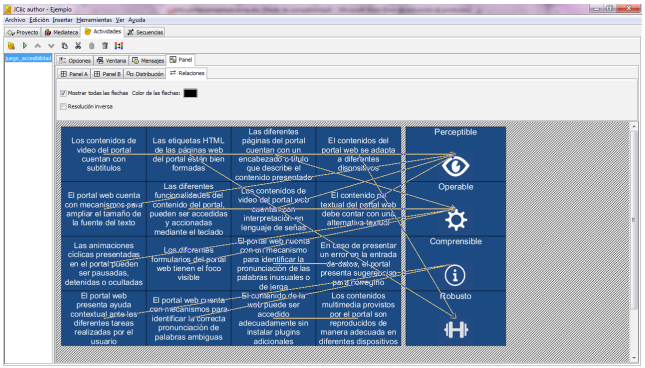


Figura 2 – Diseño del recurso en JClic

En contraste, la figura 3 presenta la interfaz final del recurso educativo, en la cual se destaca una barra de estado que presenta los aciertos, los intentos y el tiempo que le queda al usuario para cumplir con la actividad a partir del tiempo definido en la herramienta JClic.

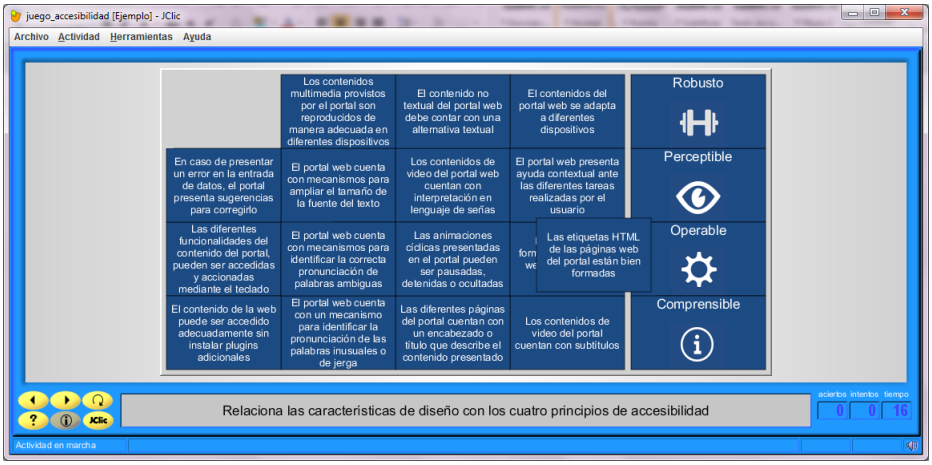


Figura 3 – Interfaz final del recurso usando JClic

Cabe resaltar que las características de accesibilidad no son presentadas en el mismo orden que se definieron en JClic, de manera que al lanzar una nueva partida el juego las

desordena con el propósito de que el recurso sea más dinámico. El recurso construido pretende servir de apoyo en la temática de accesibilidad orientada a los cursos de Interacción Humano Computador, con el fin de apoyar en el reconocimiento del alcance de los cuatro principios de accesibilidad determinados por la NTC 5854.

5.2. Recurso educativo usando Ardora

Mediante el uso de las actividades predefinidas en la herramienta Ardora, se diseñó y construyó un juego en la modalidad de asociación de palabras. El juego consta de dos columnas de palabras o textos, en la columna izquierda se encuentra un conjunto reducido de características que deben contar los portales web para ser considerados accesibles, mientras que en la columna derecha se incluyen los cuatro principios de accesibilidad considerados por la NTC 5854. En contraste con JClic, Ardora desarrolla las actividades de asociación mediante columnas de palabras y no a través de matrices. Una vez definidas las características de accesibilidad en la primera columna y los principios de la NTC 5854 en la segunda, Ardora permite al diseñador del recurso asociar gráficamente mediante flechas los elementos de la columna de la izquierda que se relacionan con la columna de la derecha. En este caso las flechas de la Figura 4 permiten conectar las características de accesibilidad con los principios de la NTC 5854.

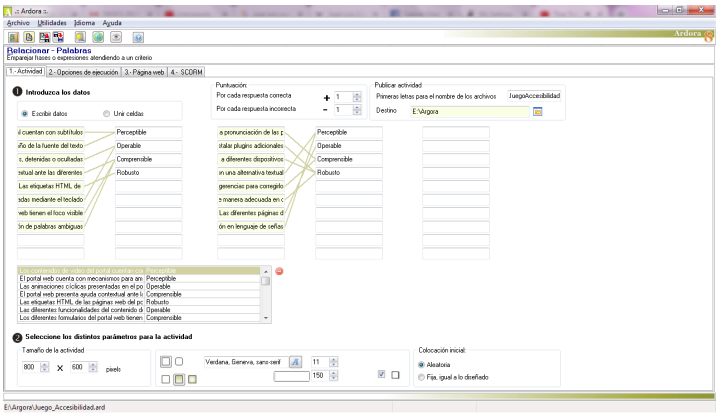


Figura 4 – Diseño del recurso en Ardora

Al igual que en JClic, Ardora permite personalizar los colores de las celdas en las cuales se presentan las palabras y frases a asociar. Así mismo, Ardora posibilita la definición de un tiempo límite para la ejecución de la actividad, la inclusión del número de intentos, el manejo del puntaje del juego, y la vinculación de sonidos para los diferentes efectos del juego. Los contenidos generados con Ardora pueden ser exportados al formato SCORM y en formato de página web haciendo uso de HTML5. Basado en lo anterior, los recursos generados mediante Ardora puedan incluirse en el contexto de un objeto virtual de aprendizaje o dentro de un portal web educativo.

En la Figura 5 se presenta la interfaz final del recurso educativo generado mediante la herramienta Ardora, en la cual se destaca la presencia de un conjunto de elementos que describen el estado del juego en la parte superior derecha de la pantalla, como: aciertos,

intentos, puntos y tiempo restante. Estos elementos permiten al usuario obtener una retroalimentación sobre las acciones que se realizan en el juego. Al igual que ocurre con el recurso en JClic, las características y principios de accesibilidad son presentados en desorden con respecto a la configuración inicial, con el fin de hacer menos monótona la interacción. A diferencia del recurso JClic, en Ardora el recurso generado permite conectar las características de accesibilidad con los principios de la NTC5854 mediante líneas. El recurso educativo generado en Ardora busca apoyar en el tema de accesibilidad orientada a los cursos de Interacción Humano Computador, con el fin de contribuir a mejorar la comprensión de los cuatro principios de accesibilidad de la NTC 5854.

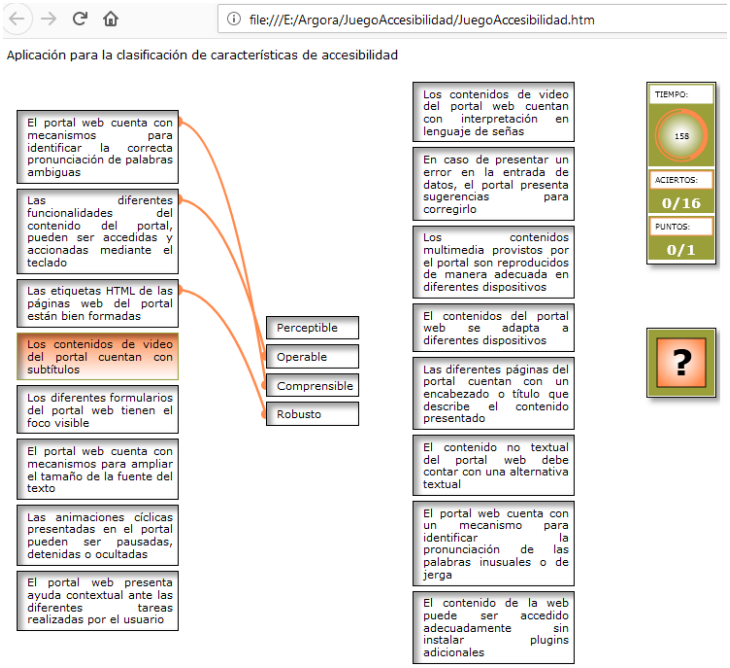


Figura 5 – Principios de la NTC 5854

6. Evaluación de los recursos propuestos

Los recursos construidos a través de las herramientas JClic y Ardora, fueron evaluados por un grupo de profesores del área de interacción humano computador, haciendo uso de un método de inspección guiado por los principios de usabilidad para videojuegos propuestos por (Pinelle, Wong, & Stach, 2008). Una inspección de usabilidad es el nombre genérico para un conjunto de métodos de evaluación de las interfaces de usuario con el objetivo de encontrar problemas de usabilidad. Este método consiste en la conformación de un grupo de expertos que analizan o inspeccionan una aplicación específica. Estos expertos realizan un informe comentando distintos aspectos de usabilidad de la aplicación, basándose en su experiencia en el área y teniendo en cuenta un conjunto de principios previamente definidos. Este informe es utilizado para realizar los cambios o ajustes necesarios en la aplicación y resolver los problemas indicados

(Zambrano, Reyes, Castro, & Fonseca, 2018; Enriquez & Casas, 2014;González, Pascual, & Lorés, 2002).

6.1. Heurísticas consideradas

En la Tabla 2 se presenta una descripción de cada una de las diez heurísticas de usabilidad propuestas por Pinelle; las cuales están enfocadas al diseño, construcción y evaluación de videojuegos. Estas heurísticas obtuvimos a partir del análisis y revisión de 108 reportes de problemas de usabilidad realizados en el portal GameSpot[1].

Heurística	Descripción
H1. Respuesta consistente a las acciones del usuario.	El videojuego debe responder de manera predecible a las diferentes acciones del usuario. En este sentido los movimientos del personaje, las coliciones y las leyes físicas se corresponden con el mundo real.
H2. Personalización de configuraciones multimedia, dificultad y velocidad del juego.	El videojuego debe permitirle al usuario configurar las opciones de audio y video, así como la velocidad del juego y el nivel de dificultad.
H3. Comportamiento predecible y razonable de las unidades controladas.	Las unidades controladas tienen un comportamiento predecible y razonable dentro del videojuego, guardando relación con el mundo real.
H4. Vistas sin obstrucción para las acciones actuales del usuario.	A lo largo del juego se debe proporcionar al usuario vistas claras y libres de obstrucción. Del mismo modo el usuario debe tener la posibilidad de seleccionar la cámara que le resulte más adecuada.
H5. Omisión de contenidos frecuentes y repetitivos.	El juego debe posibilitar al usuario la opción de omitir contenidos frecuentes y repetitivos que se presenten en diferentes momentos.
H6. Entradas intuitivas y personalizadas.	Las entradas o mandos con los que el usuario interactúa con el juego deben ser intuitivos y personalizables, con el fin de hacer más eficiente la interacción.
H7. Controles fáciles de gestionar con un adecuado nivel de sensibilidad y respuesta.	Los controles con los que el usuario interactúa con el juego deben tener el nivel de sensibilidad y respuesta que facilite la interacción del usuario.
H8. Información sobre el estado del juego.	El juego debe proporcionar al usuario información clara sobre el estado del juego (nivel, vidas, salud, armas, etc), la cual le permita cumplir los objetivos del juego de manera adecuada.
H9. Instrucciones, entrenamiento y ayuda.	El juego debe posibilitar al usuario acceder facilmente a la ayuda, la cual a su vez debe ser presentada en forma clara. De igual modo, se deben proveer también niveles de entrenamiento que faciliten el aprendizaje del funcionamiento del juego.
H10. Representaciones visuales fáciles de interpretar.	Las diferentes representaciones visuales usadas por el juego deben ser faciles de interpretar y acordes con la información del mundo real.

Tabla 2 – Heurísticas de usabilidad de Pinelle, Wong & Stach (2008)

6.2. Resultados de la inspección y propuestas de mejora

Una vez inspeccionado de manera grupal el cumplimiento de las diferentes heurísticas de usabilidad presentadas en la Tabla 2 de los recursos educativos generados en JClic y

[1] https://www.gamespot.com/

Ardora, obtuvimos un conjunto de comentarios positivos sugeridos por los expertos que permiten mejorar el videojuego (ver Tabla 3). Estos aspectos pretenden perfeccionar la usabilidad de los recursos generados y por ende el nivel de aceptación y cercanía con los estudiantes.

Heurística	Comentarios y sugerencias de mejora
H1	• El juego de asociación construido en JClic responde de manera consistente a las acciones del usuario, de tal modo que ante las diferentes acciones del usuario se obtiene una retroalimentación a nivel sonoro. Del mismo modo existe consistencia entre las acciones del usuario y el número de intentos y puntaje. • El juego de asociación generado en Ardora permite fácilmente la asociación de las características de accesibilidad con los principios, pero no muestra una retroalimentación en el puntaje a no ser que se presione el ícono de pregunta.
H2	• Los juegos generados mediante JClic y Ardora no cuentan en con la posibilidad de personalizar los efectos multimedia del mismo (deshabilitar la música de fondo, deshabilitar los efectos de sonido). A pesar de lo anterior desde plataforma de autoría de los recursos es posible personalizar los efectos de sonido de las diferentes acciones.
H3	• Los diferentes objetos del recurso educativo generado en JClic se comportan en su mayoría guardando relación con el mundo real. • Se puede mejorar la retroalimentación del recurso generado con Ardora, si el puntaje y los intentos se actualizan al momento de hacer una asociación.
H4	• Los dos recursos generados no cuentan con obstrucciones visuales en las diferentes interacciones que realiza el usuario.
H5	• Los dos recursos generados carecen de contenido frecuente y repetitivo como publicidad o videos explicativos del juego.
H6	• Los recursos son operados de manera completa desde el mouse, siendo intuitivo el proceso de unir las características a los principios en el caso del recurso generado con Ardora o arrastrar las características hacia los principios como en el caso de JClic. • Se hace necesario para hacer más accesibles los recursos proveer funciones equivalentes a las realizadas con el mouse desde el teclado.
H7	• Los recursos generados en JClic y Ardora no permiten la configuración de la sensibilidad y el nivel de respuesta de los controles, sin embargo debido a su sencillez, presenta un tiempo de respuesta adecuado a las acciones del usuario.
H8	• Los recursos generados en JClic y Ardora presentan durante toda la interacción el número de intentos, el puntaje obtenido y el tiempo restante para cumplir con la actividad. Sin embargo, en el caso del recurso generado por Ardora, el incremento del puntaje no es inmediato. • En el caso del recurso generado en JClic se sugiere mejorar los iconos usados para representar los intentos y para reiniciar la partida. En el caso del recurso generado en Ardora, se sugiere incluir iconos alusivos al puntaje, al tiempo y a los intentos, dado que solo la ayuda cuenta con ícono.
H9	• Los recursos generados en JClic y Ardora permiten configurar mensajes de ayuda al jugador, los cuales en el caso de JClic siempre están visibles.
H10	• Si bien los dos juegos generados son intuitivos en la interacción, se recomienda en el caso del recurso construido en JClic, mejorar la representación visual de los intentos y del reinicio del juego. En el caso del recurso generado en Ardora, se sugiere incluir íconos para los intentos, para el puntaje y para el tiempo, dado que el único ícono presentado es el de ayuda.

Tabla 3 – Comentarios de los evaluadores

7. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo aporta en la generación de dos recursos educativos como apoyo a la diferenciación de los principios de accesibilidad de la norma NTC 5854 en los cursos de HCI. Los recursos generados aprovechan las ventajas de herramientas de autoría como son JClic y Ardora. En este sentido, los juegos creados pretenden servir de guía en cuanto a la generación de recursos en el área de la interacción humano computador y demás áreas de interés académico.

Las herramientas de autoría demostraron ser adecuadas, en relación con la generación ágil de recursos educativos en diferentes contextos de aplicación. A pesar de lo anterior, estos recursos no son del todo usables, por lo que conviene mejorar ciertos aspectos de diseño con el fin de que el usuario no se enfoque en la funcionalidad sino en la temática abordada por el recurso educativo.

De las dos herramientas de autoría empleadas en la generación de un mismo recurso de asociación de palabras y/o conceptos, JClic logró tener en cuenta más pautas de diseño usable que la herramienta Ardora, destacándose el cumplimiento adecuado de la heurística de respuesta consistente a las acciones del usuario. A pesar de lo anterior, Ardora resultó más intuitiva y sencilla en el proceso de generación de los recursos educativos presentados.

Con la difusión de los denominados recursos educativos abiertos, las herramientas de autoría toman una mayor fuerza de cara a la generación ágil de recursos a partir de actividades predefinidas. En este sentido, las herramientas de autoría consideradas en este artículo permiten la exportación a formatos HTML5 y SCORM, los cuales permiten el uso de los recursos en un portal web o en un entorno virtual de aprendizaje de manera flexible.

La transferencia y generación de recursos educativos centrados en la temática de accesibilidad es pertinente, teniendo en cuenta la necesidad de generar contenidos destinados a un mayor número de usuarios. En virtud de ello, es importante estudiar de manera detallada el alcance de los principios y pautas de accesibilidad propuestos por la NTC 5854 y la WCAG 2.1.

Como trabajo futuro derivado de la presente investigación se propone el estudio de otras herramientas de autoría como: Constructor o Scratch, con el fin de evaluar las potencialidades de estas en la generación de recursos educativos para diferentes contextos de aplicación. Del mismo modo se pretende evaluar el aporte educativo de los recursos generados dentro de los cursos de interacción humano computador.

Referencias

Acosta-Vargas, P., Acosta, T., & Lujan-Mora, S. (2018). Challenges to Assess Accessibility in Higher Education Websites: A Comparative Study of Latin America Universities. *IEEE Access*, *6*, 36500–36508. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2848978

Chanchí, G., Idrobo, S., & Vidal, M. (2017). Recomendaciones para el diseño e implementación de aplicaciones web accesibles, teniendo en cuenta la norma NTC 5854. *Investigación Formativa En Ingeniería*, 308–317.

Da Silva, S., Costa, J., Rocha, J., & Holanda de Paiva, D. (2018). Propuesta de una interfaz de comunicación para la atención a las personas con discapacidad. *Revista Colombiana de Computación*, *19*(2), 16–23. https://doi.org/10.29375/25392115.3439

Enriquez, J. G., & Casas, S. I. (2014). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informes Científicos - Técnicos UNPA*, *5*(2), 25–47. https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v5i2.71

González, M., Pascual, A., & Lorés, J. (2002). Evaluación Heurísitca. *Introducción a La Interacción Persona-Ordenador*, 1–39.

ICONTEC. (2011). *Norma Técnica Colombiana 5854*.

Idrobo, C., Idrobo, M., Chanchí, G., & Vidal, M. (2017). Accessibility Guide for the Design and Implementation of Websites According to the NTC 5854 Standard. In *Colombian Conference on Computing* (pp. 572–585). Springer, Cham. https://doi.org/10.1109/vlsi-dat.2012.6212578

Mayol, J. J., Nadal, G. F., & Coll, A. B. (2011). Análisis y procedimiento de mejora de la accesibilidad web. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, *7*, 61–73. Retrieved from http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1646-98952011000100006&lng=pt&tlng=es

Mera, A., Jaramillo, M., Márceles, K., Chanchí, G., Collazos, A., & Bojorge, A. (2018). Herramienta TIC enfocada al manejo adecuado del sembrado del Café: Coffe Fun. In *Memorias del Seminario Internacional de Innovaciones Educativas y MOOC* (p. 138).

Pérez, D., Vidal, M. I., & Chanchí, G. E. (2018). Identificación de problemas de accesibilidad en juegos serios. *Revista Colombiana de Computación*, *19*(2), 24–36. https://doi.org/10.29375/25392115.3440

Pinelle, D., Wong, N., & Stach, T. (2008). Heuristic evaluation for games: Usability Pronciples for Video Game Design. In *SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 1453–1462). ACM. https://doi.org/10.1145/1357054.1357282

Tárraga, R., & Colomer, C. (2013). Review of authoring tools for the design of educational resources. *Didáctica, Innovación y Multimedia (DIM)*, *9*(25), 1–11.

UNESCO. (2017). Inclusión Educativa. *XIII Jornadas de Cooperación Educativa Con Iberoamérica*.

Violini, L., & Sanz, C. (2016). Herramientas de Autor para la creación de Objetos de Aprendizaje. *XXII Congreso Argentino de Ciencias de La Computación (CACIC 2016)*, 353–362.

World Wide Web Consortium. (2018). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. Retrieved May 30, 2019, from https://www.w3.org/TR/WCAG21/

Zambrano, E., Reyes, R., Castro, J., & Fonseca, E. (2018). Métricas que podrían usarse en el Desarrollo de Aplicaciones Móviles para Personas con deficiencias Visuales : Una Revisión de Literatura Preliminar. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, *E17*, 985–999.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 18/05/2019
Aceitação/Acceptance: 11/07/2019

Estrategia inclusiva mediada por TIC para el mejoramiento de la comunicación de personas en condición de discapacidad auditiva y vocal

Juan José Caiza[1], Katerine Márceles Villalba[1]

juanjosecaiza@unimayor.edu.co, kmarceles@unimayor.edu.co

[1] Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Carrera 7 N° 2-34 Edificio Bicentenario, 190003, Popayán- Cauca, Colombia.

Pages: 184–193

Resumen: Este artículo presenta una herramienta tecnológica, basada en una aplicación móvil dirigida a personas con discapacidad auditiva y vocal; ésta se desarrolló bajo metodologías ágiles en cuanto al desarrollo de software, aplicando las respectivas fases; su objetivo principal es mejorar el proceso de comunicación entre personas que presentan este tipo de discapacidad frente aquellas que no la padecen. Para evaluar su uso se apliacaron tres tipos de pruebas: pre-test, test, Pos-test, con el fin de medir los conocimientos básicos y obtener el grado de satisfacción que presenta el usuario al interactuar con la aplicación móvil; posteriormente realizar el análisis correspondiente y generar una retroalimentación acerca de la efectividad del mismo.

Palabras-clave: aplicación móvil; lenguaje de señas; discapacidad.

Design of a mobile application that facilitates communication through sign language for people with hearing and vocal disabilities

Abstract: This article presents a technological tool, based on a mobile application aimed at people with hearing and vocal disabilities; this was developed under agile methodologies in terms of software development, applying the respective phases; Its main objective is to improve the communication process between people who have this type of disability and those who do not. To evaluate its use, three types of tests were applied: pre-test, test, post-test, in order to measure the basic knowledge and obtain the degree of satisfaction that the user presents when interacting with the mobile application; later perform the corresponding analysis and generate feedback about the effectiveness of it.

Keywords: mobile application; sign language; disability.

1. Introducción

En la actualidad, las necesidades de la sociedad van en un incremento exponencial, se debe denotar que vivimos en la era digital, así lo describe (Lavid, 2005), en su libro la

tercera ola, refiriéndose a la ola de la información y el conocimiento muchos autores lo ratifican denominando el gran desarrollo tecnológico que se ha tenido en las últimas décadas, como la nueva "revolución social", refiriéndose al desarrollo de la sociedad de la información, es decir, la información se convirtió en la materia prima de trabajo (Belloch, 2012) y entorno a ella se están desarrollando un sinfín de aplicaciones, llevando siempre un objetivo en común, generar un aporte a la sociedad.

El desarrollo de la tecnología ha cambiado de forma significativa nuestra cultura y forma de vida, ya que sus avances están ocupando todas las áreas de trabajo y conocimiento, ofreciendo beneficios que han permitido el desarrollo propio de cada una de estas, esto implica para las diferentes áreas de la ingeniería, que se debe estar en una innovación continua.

Se sabe que cuando se habla de innovaciones computacionales, existe una amplia gama de aplicaciones para éstos y los beneficios que ofrecen son innumerables, toda esta variedad de aplicaciones, se han dado gracias a la rápida evolución de la tecnología, que ha permitido una integración para que estas aplicaciones vayan a cubrir diferentes áreas, por esta razón, actualmente es común que se involucre fácilmente en la mejora de aspectos sociales, culturales y económicos (Cuervo, 2011), por ello la rápida evolución de las tecnologías informáticas va pareja a la universalización de su uso, es decir va en relación directa con la sociedad y sus necesidades.

Ya que esta sociedad está experimentando cambios y transformaciones profundas, que deben favorecer la aparición de nuevas formas de inclusión, para todas aquellas personas que, por diferentes motivos, no acceden a determinados recursos, quedando al margen de las posibilidades que las tecnologías permiten; en este sentido, es destacable el caso de los dispositivos móviles, que se incorporaron a la vida de los ciudadanos como una herramienta indispensable en toda actividad cotidiana, los dispositivos móviles son elementos socializantes, aún por intereses del mercado, pero que pueden favorecer las condiciones de vida, el aprendizaje y la formación (Fombona, Pascual & Madeira, 2012).

Todas estas actualizaciones están a la disposición de la sociedad en general, pero se debe pensar y tener en cuenta si en realidad son accesibles para todos, es decir, están disponibles en funcionamiento para personas con capacidades limitadas o aún más con una discapacidad completa. Existe por lo tanto, una creciente preocupación mundial por eliminar, hasta donde sea posible, dichas desventajas (Koon, 2014). En la actualidad se pretende una inclusión social total dentro del país, la que también considera a las personas con alguna deficiencia que les impida realizar actividades comunes en la vida cotidiana (Villegas, 2015).

Esto se logra por medio de acciones específicas, como el crear aplicaciones destinadas hacia esta parte de la población, que permitan que las personas con discapacidad se encuentren capacitadas y puedan tener acceso al desarrollo tecnológico, recuperar la o las funciones faltantes y, cuando no sea posible la completa recuperación, compensarla con la rehabilitación, la cual consiste tanto en desarrollar las habilidades y destrezas necesarias como, en dotar a las personas de elementos compensatorios, y ocupar el lugar que les corresponde en la toma de decisiones que afecten sus vidas (Koon, 2014).

Para las personas con discapacidad, las aplicaciones móviles parecen multiplicar las ventajas y oportunidades, y por otro lado, traen consigo barreras específicas de accesibilidad. Es por ello que bajo documentación relacionada, enmarcando las necesidades básicas que tienen las personas con discapacidad auditiva y vocal, se pretende desarrollar una aplicación móvil para personas sordo-mudas, que permita la interacción con personas del común (personas que no presentan discapacidades), mediante el registro de voz, y la traducción al lenguaje de señas, éste se desarrollará siguiendo la guía del PMBOOK; para la formulación y gestión de proyectos en este caso en la línea informática, de igual manera se pretende que la persona con la discapacidad auditiva y vocal pueda interactuar a través de su propio lenguaje, pero siendo traducido a un lenguaje universal.

La falta de establecer una interacción comunicativa con la sociedad es una de las situaciones que más afecta a las personas con discapacidad auditiva y vocal, muchas veces viven un doble aislamiento que les impide el acceso a información, o les limita el desarrollo integral de su vida cotidiana. En Colombia según RLCPD (registro de localización y caracterización de personas con discapacidad), se han identificado y caracterizado 1.404.108 personas con discapacidad, de los cuales el 5,1 % pierden la voz y habla, es decir, existen 10.136 personas en Colombia con esta discapacidad (Salud, 2018) como se logra evidenciar en la figura 1, donde se muestra una distribución de las discapacidades identificadas más el porcentaje de la población.

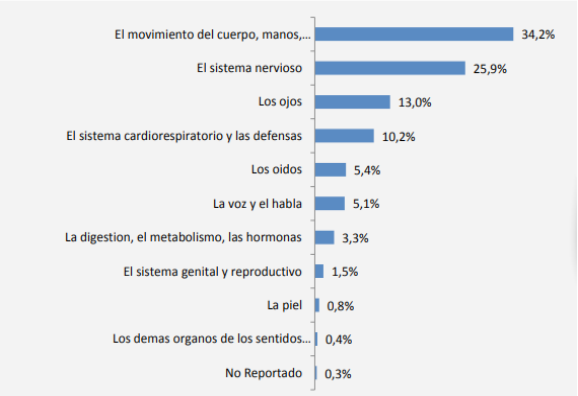


Figura 1 – Personas con discapacidad según la alteración que más le afecta. RLCPD

Por eso, es importante mencionar uno de los recursos que compensa a las personas con discapacidad auditiva y vocal que es su capacidad visual, este aspecto es fundamental, ya que les ayudan a suplir de alguna manera el desarrollo de sus actividades, pero para que puedan tener una vida integral es necesario que puedan comunicarse, expresarse y realizar distintas actividades; bajo esta premisa, se pretende implementar las adaptaciones técnicas necesarias bajo la creación de una aplicación móvil que les permita la comunicación con todas las personas mediante la traducción del lenguaje de señas.

2. Justificación

Colombia aún no está dentro de los países con alto desarrollo tecnológico, la aplicación de la tecnología dentro de la sociedad debe responder a la necesidad que esta demande, teniendo como prioridad el generar soluciones a problemas que se presenten dentro de ella. En este orden de ideas, la población que tiene algún tipo de discapacidad demanda de estos desarrollos, para el caso en específico, las personas con discapacidad auditiva, presenta una gran serie de retos día por día, por la limitación que manejan con la comunicación, además de que el lenguaje de señas no es un lenguaje universal, deben idear estrategias que les permita expresar sus ideas o valerse por el desarrollo de sus otros sentidos. Ante esto, el desarrollo de una aplicación que permita la fácil traducción entre personas con discapacidad auditiva y las personas del común, puede abrir una puerta para la mejora de su calidad de vida, dado que presenta beneficios que faciliten la forma de expresarce ya sea de manera simultánea o captando la informacion por voz, para ser interpretada por la herramienta tecnológica, de tal modo que les permita el poder realizar diferentes actividades del diario común.

3. Aspectos conceptuales

Es menester tener claro ciertos conceptos que fueron fundamentales durante el desarrollo de este proyecto, los cuales son los que se enuncian a continuación:

Aplicación móvil: Una aplicación (también llamada App) es simplemente un programa informático creado para llevar a cabo o facilitar una tarea en un dispositivo informático. Cabe destacar que aunque todas las aplicaciones son programas, no todos los programas son aplicaciones (Sistemas Master Magazine, 2019).

Discapacidad: La discapacidad se considera un problema individual o personal, causado por una enfermedad, deficiencia o condición de salud. La realidad biológica es el punto de partida de la deficiencia y la discapacidad, y las limitaciones que éstas provocan en el funcionamiento del individuo se subsanan eliminándolas a través de tratamiento médico curativo y rehabilitador, y mediante políticas de atención a la salud (Seoane, 2010).

Lenguaje de señas: La lengua de señas posee y cumple todas las leyes lingüísticas y se aprende dentro de la comunidad de usuarios a quienes le facilita resolver todas las necesidades comunicativas y no comunicativas propias del ser humano, social y cultural , también está al alcance de las personas oyentes siempre que se sumerjan en el mundo del sordas, las cuales se identifican con la lengua, costumbres, valores, tradiciones (Arado, 2011).

4. Antecedentes

Actualmente existe un alto desarrollo y evolución tecnológica, el pilar principal para estos desarrollos será en respuesta a la sociedad, más aún cuando se enfoca en la parte de la población con necesidades especiales o discapacidades, esto crea la necesidad de conocer y saber qué opciones existen para facilitar la evolución de estas personas y también para mejorar su estilo de vida, (Villegas, 2015) realizaron una investigación

donde su objetivo era proponer nuevos proyectos que mejoren la independencia y calidad de vida de las personas con discapacidad mediante el empleo y/o la adaptación de las características de tecnologías y soluciones existentes, por ello la importancia de aplicar herramientas tecnológicas para el beneficio y aporte a la vida de personas con discapacidades, mas puntualmente, personas sordomudas.

Gaitán (2015) le da importancia en su estudio al mantenimiento y enseñanza del lenguaje de señas, para ello busca incursionar en el desarrollo de software para aplicaciones informáticas, que favorezcan a personas con discapacidades auditivas, que reciben atención en instituciones sin fines de lucro, esto reafirma el soporte social que debe tener el desarrollo tecnológico, en busca del bienestar de ésta. De igual manera en el 2011 (Francisca A. Valenzuela, 2011) desarrollan dos aplicaciones destinada para usuarios sordos, una aplicación móvil y otra de escritorio, que buscan un acercamiento de los usuarios a sistemas interactivos, resaltando la importancia del uso de la tecnología para la reutilización de recursos, bajo diferentes herramientas que puedan beneficiar a estas personas.

En un estudio realizado por Acevedo et al. (2008), se desarrolló una aplicación para celulares dirigida a personas sordomudas, que buscó facilitar la comunicación entre personas sordomudas y, de igual manera, con personas sin esta discapacidad. También, en un estudio en colaboración entre México y Colombia, llevado a cabo por Cano (2015), se diseñó una aplicación para Tablet que sirve como adquisición de conceptos y estructura de oración, con el propósito de capturar atributos de niños con discapacidad auditiva, de tal manera que sea posible adaptar ciertas variables y nivel de aprendizaje del juego.

Para el 2016, Torrejón (2016) diseñó un guante electrónico sensitivo al movimiento, interpretando el abecedario, las señas más importantes empleadas con una sola muñeca, para así establecer una comunicación entre personas con discapacidad auditiva y el resto de la sociedad.

Es importante destacar el desarrollo creciente de herramientas tecnológicas que brindan oportunidades a personas que tienen un problema de discapacidad. Mediante la aplicación **Beet-Ear** se busca en el acercamiento de usuarios con discapacidad con sistemas interactivos y evaluar el beneficio de la tecnología en ellos, sea para niños jóvenes o adultos. El objetivo es adaptar ciertas variables y obtener un nivel de aprendizaje sobre lenguaje de señas, permitiendo una comunicación con el resto de la población. De esta manera se pretende cubrir necesidades que tienen las personas con discapacidad auditiva y vocal.

5. Metodología

El desarrollo de la aplicación móvil **Beet-Ear** se llevó a cabo utilizando la metodología Design Thinking (DesignThinking, 2019), donde el objetivo principal es la innovación y empatía, como se detalla en la figura 2. La creación de la aplicación móvil se basó en los requerimientos del usuario, lo que permitió conocer sus problemas y necesidades reales. También se utilizaron técnicas de investigación de mercado para caracterizar al usuario. Esto permitió seleccionar diferentes soluciones que se integraron en el producto propuesto. El desarrollo de la aplicación partió de la creación de un

prototipo que permitió probar continuamente la solución hasta llegar al resultado final del proyecto.

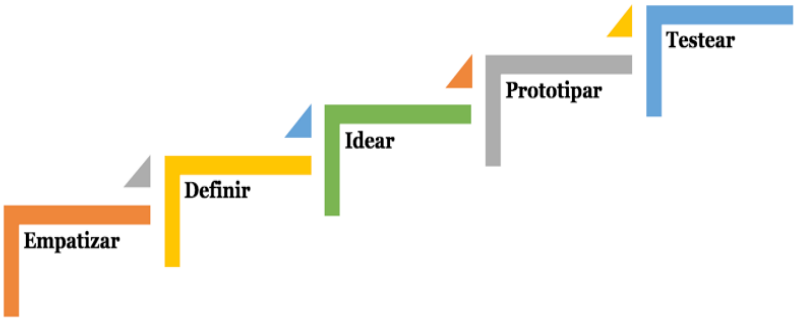


Figura 2 – Metodología Design Thinking

5.1. Fases del proyecto

Fase 5.1.1: El propósito de la fase uno, es identificar con claridad el concepto del problema, aplicando los diferentes conceptos y funciones básicas de la aplicación, realizando un análisis que identifique y satisfaga los requerimientos del problema, para verificar la viabilidad del proyecto y hacer los ajustes pertinentes, mediante las siguientes actividades.

- Acta de constitución
- Oferta técnica
- Estudio de viabilidad
- Oferta económica

Fase 5.1.2: Para la fase dos se desarrollan las especificaciones funcionales del proyecto, realizando un diseño previo de la aplicación, teniendo claro los requerimientos funcionales y no funcionales, en base a los requerimientos del cliente y objetivos planteados, diligenciados mediante los siguientes ítems:

- Especificación funcional
- Requisitos No funcionales
- Requisitos funcionales

Fase 5.1.3: Para las fase tres, se tiene como objetivo el desarrollo de la aplicación móvil, el cual genere un ejecutable, que permita realizar un seguimiento de control y realizar un plan de prueba. También se pretende evaluar el aplicativo con el fin de corregir los posibles errores y hacer las correcciones pertinentes. Lo anterior se ejecutó siguiendo las actividades siguientes:

- Diseño de la aplicación móvil
- Desarrollo de la aplicación móvil

- Ejecución de la aplicación
- Diseño y realización del plan de pruebas

Fase 5.1.4: Esta fase tiene como objetivo entregar la versión final de la aplicación al cliente y evaluar el desarrollo del proyecto. Para la evaluación se estudian los problemas ocurridos, los conseguidos, las soluciones halladas y el cumplimiento de Objetivos, mediante las siguientes acciones:

- Implementación
- Informe
- Entregables

Luego de cubrir cada una de las fases del desarrollo metodológico del Design Thinking, alineadas al estándar del PMBOOK, se logró la construcción de un producto de software llamado **Beet-Ear**, atendiendo a las necesidades y requerimientos de personas del común y personas que tienen esta discapacidad auditiva y vocal, permitiéndoles ser participe de ésta para mejorar su proceso de inclusión social y comunicativa en su entorno. En la figura 3 se muestran vistas parciales de la aplicación.

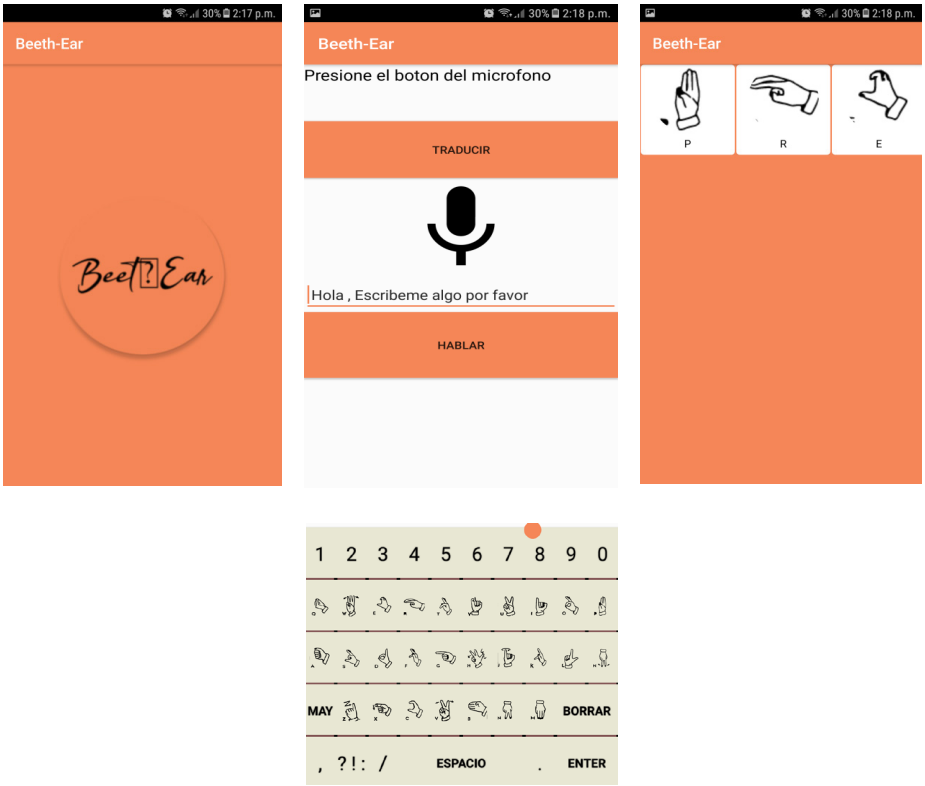


Figura 3 – Aplicación **Beet-Ear**

6. Análisis de resultados

Para medir la satisfacción del usuario frente a la interacción de la aplicación, fue llevado a cabo con dos personas de edades muy distante, con el ánimo de tener apreciaciones con puntos de vista diferentes y necesidades también distintas; es aquí en este momento donde se aplican los instrumentos diseñados para el Pre test, Test y Post test. A continuación en la tabla 1 se muestra parte de las reacciones obtenidas por los usuarios en la prueba.

Prueba	Usuario 1 (Adulto de 43 años)	Usuario 2 (Joven de 15 años)
Pre Test	No logro resolver	Tiene acceso a dispositivo (celular), logra digitar y manejar con facilidad el dispositivo, así como el manejo de redes sociales. Tiene conocimiento amplio sobre el lenguaje de señas, por medio de este se comunica pero además tiene la facilidad de escribir y de gesticulación.
Test de Uso	No logro resolver	Ha visto aplicaciones similares, pero con diferentes patrones, respecto a colores, imagines y botones está de acuerdo con lo presentado, en cuanto al lenguaje de señas, manifiesta que es bueno, pero sugiere que en el lenguaje de señas se manejan abreviaturas y de igual manera seria óptimo contar con ellas. Destaca el fácil manejo de la aplicación, pero sugiere establecer las funciones en mejor orden.
Post test	No logro resolver	Da un puntaje de 7 para la aplicación, resalta que lo que más le llamo la atención de la aplicación es la facilidad de comunicación con personas que no manejen lenguaje de señas, además de la practicidad del teclado que ofrece lenguaje común y de señas. Respecto al uso futuro considera que con algunas mejoras le gustaría usarla, además de recomendarla.
Recomendaciones por parte del individuo	Sugiere una aplicación para personas con sus limitaciones de comunicación.	Sugiere la inclusión de lenguaje abreviado.

Tabla 1 – Resultados de interacción con la App Beet Eart

Respecto al Usuario 1, adulto de 43 años de edad, no se logró establecer una interacción entre la aplicación y él, ni tampoco la aplicación del test, luego de la prueba con la app; la limitación se presentó por la falta de comunicación con el usuario, a su falta de conocimiento de escritura en lenguaje común, dado que solo sabía comunicarse por medio de lenguaje de señas; se logró concluir, por medio de un familiar que maneja lenguaje de señas, que a esta persona le gustaría una aplicación que le facilite la comunicación para personas que no manejan escritura en lenguaje normal.

El Usuario 2, joven de 15 años de edad, estudiante actual de grado 10 de bachillerato, se mostró muy activo y dinámico; tiene manejo de lenguaje de señas y escritura en lenguaje

común. Además de eso, maneja gesticulación y abreviatura de lenguaje de señas. Este usuario hizo énfasis en dos aspectos: 1) la facilidad para comunicarse con personas que no manejen el lenguaje y 2) la sugerencia que hizo de que se introduzca lenguaje por medio de lenguaje abreviado, el que asegura es el más utilizado en su medio.

El acceso a personas con este tipo de discapacidad, aunque son numerosas, fue muy limitado a la hora de realizar las pruebas. Se debe tener presente además que el manejo de este tipo de aplicaciones, o el simple acceso a un dispositivo móvil, va a depender de las condiciones socioeconómicas de la persona y de su nivel de educación. Es fundamental realizar un estudio más profundo en estos dos aspectos para realizar mejoras en la aplicación.

7. Conclusiones

Se llegó a concluir que al momento de realizar las pruebas con las personas sordas es necesario tener algún conocimiento previo sobre el manejo del lenguaje de señas para evitar limitaciones de comunicación y pérdida de información de importancia, durante el desarrollo de éstas.

En lo que concierne al diseño, se identificó que este se debe mejorar para tener una adecuada adaptación a las necesidades de la población a la que va dirigida, pensando siempre en su comodidad y facilidad. Se sugiere tener en cuenta a personas que solo manejen el lenguaje de señas, el uso de abreviaciones e introducir otro idioma manejando el lenguaje de señas; lo anterior para futuras mejoras a la aplicación.

Con las pruebas realizadas también se detectó que las personas sordas no siempre se comunican deletreando las palabras sino que, por el contrario, ya ellos cuentan con expresiones y señas estandarizadas que les permite comunicarse entre ellos, lo que podría redundar en un nuevo requerimiento del desarrollo futuro de la aplicación.

Por otra parte, se resalta que se dejaron fuera dos factores de importancia, que se deben tener en cuenta como estudios futuros. Estos son el factor socioeconómico y el nivel de educación de la persona que va a emplear la herramienta. En este sentido, se considera que la aplicación debería ser de uso libre para que pueda ser utilizada por mayor cantidad de personas y se recomienda tener un conocimiento básico en cuanto al manejo de aplicaciones móviles antes de utilizar la aplicación desarrollada.

Referencias

Arado, B. P. (2011). *Cultura sorda* [Internet]. Obtenido de: https://cultura-sorda.org/lengua-de-senas/.

Belloch, C. (2012). *Las tecnologías de la información y comunicación en el Aprendizaje* [Internet]. Obtenido de https://www.uv.es/bellochc/pedagogia/EVA1.pdf.

Cuervo., C. (2011). *Objetos de aprendizaje. Un estado del arte* [Internet]. Obtenido de: http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v7n1/v7n1a12.pdf.

DesignThinking. (2019). *Qué es el design thinking* [Internet] Obtenido de: https://designthinking.gal/que-es-el-design-thinking/

Francisca A., & Valenzuela, H. E. (2011). Desarrollo de entornos interactivos para usuarios sordos. En *CACIC 2011 - XVII Congreso Argentino De Ciencias de la Computación*, 1304–1303.

Acevedo, A., Flores, R., Lima, S., & Alducin, B. (2008). *Lenguaje de Señas Por Celular* [Internet]. Recuperado de http://www.iiis.org/cds2009/cd2009csc/cisci2009/paperspdf/c828ug.pdf

Koon, R. (2014). *El impacto tecnológico en las personas con discapacidad* [Internet]. Obtenido de: http://www.repositoriocdpd.net:8080/bitstream/handle/123456789/363/Pon_KoonRA_ImpactoTecnologicoPersonas_2000.pdf?sequence=1 .

Lavid., J. (2005). *Lenguaje y nuevas tecnologías* [Internet]. Obtenido de: http://www.labev.uerj.br/textos/LAVID-Julia_Lenguaje-y-nuevas-tecnologias_cap1_2005.pdf.

Torrejón, M. (2016). Traductor de lenguajes de señas con guante electrónico y aplicación Android. *Investigación y Tecnología*, 4 (1), 99–104.

Gaitán, R. C. (2015). Aplicación de las TIC para el aprendizaje del lenguaje en personas sordas. Experiencia en el Centro Regional San Miguel. *Revista tecnológica*, 6, 43–45.

Salud, M. d. (2018). Sala situacional de las personas con discapacidad (PCD). Junio 2018. *Gobierno de Colombia*: Ministerio de Salud y Protección Social Oficina de Promoción Social.

Sandra Cano, J. M. (2015). Aplicación móvil para el aprendizaje de la lectoescritura con Fitzgerald para niños con discapacidad auditiva. En *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*. doi: 10.5753/cbie.wcbie.2015.240.

Seoane, J. A. (2010). ¿Qué es uma persona com discapacidad? *Minerva Usc*. ISSN 0211-6642, Universidade da Coruña.

Fombona, J., Pascual, M., & Madeira, M. (2012). *Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles* [Internet]. Recuperado de: https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/22659.

Sistemas Master Magazine. (2019). *Definición de Aplicación* [Internet]. Obtenido de: https://sistemas.com/aplicacion.php

Villegas, S. W. (2015). Propuestas de soluciones TIC emergentes para personas con discapacidad. *Sinergia e Innovación*, 3 (1). doi: 10.19083/sinergia.2015.408

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 16/06/2019
Aceitação/Acceptance: 14/09/2019

An approach for Helping the Mobility of People with Visual Impairment: Design and Implementation

Nelson Sotomayor[1], Danilo Chavez[1], Oscar Camacho[1], Victor Taramuel[1], Mayra Sarzosa[1]

nelson.sotomayor@epn.edu.ec, danilo.chavez@epn.edu.ec, oscar.camacho@epn.edu.ec, vtaramuel@hotmail.com, sarzosa_ale@hotmail.com

[1] Departamento de Automatización y Control Industrial, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara, E11-253, 170525, Quito, Ecuador.

[5] Instituto Tecnológico Superior Sucre, SENESCYT, Av. 10 de Agosto, N26-27, 170520, Quito, Ecuador.

Pages: 194–205

Abstract: In this paper, a device is proposed and designed to help visually impaired people to navigate safely and quickly between obstacles and other dangers faced by visually impaired pedestrians. The design and construction of the system is based on the fictitious force algorithm for obstacle evasion commonly used in mobile robots. The algorithm is implemented in a microcontroller, the system is responsible for informing a safe direction for the user using recorded messages and vibration. Tests and results are shown. The proposed approach presented satisfactory results.

Keywords: Fictitious Force; Obstacle Avoidance; Visual Impairment; Microcontroller

1. Introduction

William Rowland, President of the National Council of the Blind of South Africa, raised a relevant question at the XI International Conference on Mobility, in which 254 delegates from 41 countries participated, who benefited from the knowledge and enthusiasm for the group of people with severe visual impairment that are located in developing or poor countries (Mon, 2015). “How to achieve cheap and easy guidance and mobility for blind people in developing countries?” The number of people of all ages visually impaired is estimated to be 285 million, of whom 39 million are blind, these numbers are coming from World Health Organization (WHO), (2012). People 50 years and older are 82% of all blind. These numbers should be increased in the last years.

Orientation and mobility are the keys of independence for blind people, in the sense that the problem is often reaching the desired sites. The technology has developed systems designed to facilitate and improve the quality of life of these people, from simple to very complex systems. The systems related to mobility assistance for blind people are responsible for giving the user immediate information about the environment in order to orient themselves and avoid obstacles using sensors, cameras or other electronic systems. Among the developed systems we can mention the Sonic pathfinder (Gallimore & Beaton, 1994), the Mowat sensor (Borenstein & Ulrich, 1997), the laser stick (Tendencias21, 2016), among others.

Blind people face important challenges when navigating public spaces due to the lack of visual sensing. Although many navigation support systems for visually impaired people have been proposed in the past, navigating through unknown environments is still a major challenge for visually impaired travelers. Existing systems provide navigation information through headphones, speakers or tactile actuators.

The contribution of this work consists of the design and implementation of a prototype to help the mobility of people with visual disabilities that is safe, comfortable, and discreet. The design and construction of the system is based on the fictitious force algorithm for obstacle avoidance commonly used in mobile robots. The algorithm is implemented in a microcontroller, the system is responsible for informing a safe address for the user using recorded messages and vibration, in this way establishing new communication links, by means of alternative senses such as touch and hearing, by means of systems used in different parts of the body, head, abdomen, wrists, feet (Tapu, Mocanu & Tapu, 2014).

The designed prototype is installed on a vest, so that it can be easily used by the user. The vests use different technologies to warn the presence of objects, either by means of vibration, that is to say using different frequencies of vibration to notice how close or far and find an object, as well as audible messages pre-recorded in a database, or sounds that vary their frequency tone allowing intuiting the user the distance or proximity of an obstacle.

This article is organized as follows: the second section presents basic concepts associated with the algorithm for generating dummy forces to evade obstacles, then the third section shows the design and implementation of the evasion and obstacle detection algorithm, subsequently the tests and results of these are described. Finally, conclusions are presented.

2. Algorithm for generation of fictitious forces to evade obstacles

In this section some fundamental concepts that will be used for the realization of the prototype will be described. In first place, the mathematical model representation of position and orientation is presented and then the method of fictitious forces to evade obstacles is described.

2.1. Mathematical representation of position and orientation

The following equations are developed in the 0XY coordinate system. In general, the translation and rotation matrix (Rosales, Scaglia & Mut, 2009) is represented as shown in equation (1):

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & P_x \\ \sin\theta & \cos\theta & P_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

Where is shown a translation to the point (Px,Py), and a rotation of an angle P in an anti-clockwise direction with respect to the 0XY system.

If a vector rotates on the same axis of the 0XY system that is (Px,Py) = (0,0) then the following matrix will be generated, which is known as a rotation matrix.

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \tag{2}$$

2.2. Method of fictitious forces to evade obstacles

There are several versions of the method of fictitious forces to evade obstacles. The method of fictitious forces based on the generation of a potential field has been in recent years one of the most used methods due to its mathematical simplicity and efficiency. The basic concept of this method is to generate a force in such a way that the mobile robot is repelled by obstacles, and attracted to the goal, as shown in Fig. 1.

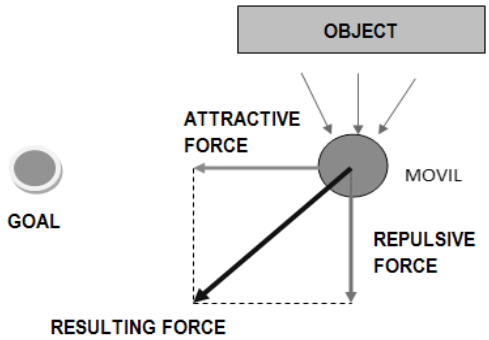


Figure 1 – General scheme of the method of forces for the evasion of obstacles in mobile robots

This method generates a force field that changes depending on the distance between the mobile robot and the obstacle. The force generated in this method obeys the following mathematical equation (Ortigoza et al., 2012).

$$|\overrightarrow{F_k}| = \begin{cases} 0 & si \quad d_k > d_{max} \\ \dfrac{C_f\, n}{|d_{min} - d_k|} & si \quad d_k \leq d_{max} \end{cases} \tag{3}$$

Where,

$\boldsymbol{d_k}$**:** It is the distance between the object and the robot;

$\boldsymbol{d_{max}}$**:** It is the distance of repulsion to which the evasion strategy acts;

$\boldsymbol{d_{min}}$**:** It is the minimum distance of no contact, considering the radii of the robot and the obstacle;

$\boldsymbol{C_f}$**:** It is a positive constant, which indicates the coverage size of the force field.

In the diagram of Fig. 2, the modified fictitious force method can be seen, where: Ψ represents the angle of orientation of the robot, γ the angle between the obstacle and the robot, β the direction in which the obstacle is located, with respect to the robot, α is the angle between the desired velocity vector Ud and the modified desired velocity Udα.

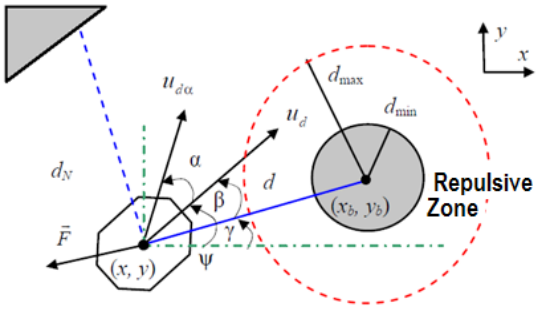


Figure 2 – Modified fictitious force method (Mon, 2015)

The components of the vector Ud are modified as follows:

$$\begin{pmatrix} \frac{x_{d\alpha(k+1)} - x_{d\alpha(k)}}{T_0} \\ \frac{y_{d\alpha(k+1)} - y_{d\alpha(k)}}{T_0} \end{pmatrix} = \sigma \begin{pmatrix} \cos\alpha_{(k)} & -\sin\alpha_k \\ \sin\alpha_{(k)} & \cos\alpha_{(k)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{x_{d(k+1)} - x_{d(k)}}{T_0} \\ \frac{y_{d(k+1)} - y_{d(k)}}{T_0} \end{pmatrix} \tag{4}$$

The angle of rotation αk is calculated as:

$$\alpha_k = |\overrightarrow{F_k}| sign(\sin(\beta_k)) \tag{5}$$

To avoid problems of enclosure "U" a normal distance is used, so that if dN ≤ dmax adds π / 2 rad to α, which will force the robot to turn around and thus get out of the problem.

3. Design and implementation of the algorithm of evasion and detection of obstacles

This section shows how the control equations that are implemented in the microcontrollers are deduced based on the same logic of the force generation algorithm used in mobile robots.

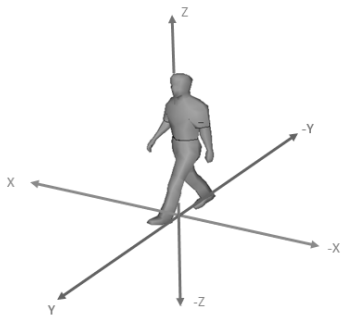


Figure 3 – Location in the reference system

The designed software allows you to choose between 2 operating modes, front and side detection mode (mode 1) and single front detection mode (mode 2).

The reference system used is the one shown in Fig. 3.

3.1. Front and side detection mode (Mode 1)

The frontal and lateral detection mode, indicates to the user a safe evasion direction using recorded messages and vibration, depending on the direction in which it points $\overrightarrow{FA}$ called artificial force of attraction.

In this section the following abbreviations are used for certain phrases whose meanings are shown in Table 1.

Aspect	Description
LD	Detection limit
DM	Measured distance
DFM	Measured front distance
DLM	Measured side distance
DLDM	Measured right side distance
DLIM	Left side distance measured

Table 1 – Abbreviations

The initial position of an artificial force of attraction $\overrightarrow{FA}$ is established, in the direction of the orientation of the person. With what its components in (X,Y) will initially be:

$$\overrightarrow{FA} = \begin{pmatrix} FA_x \\ FA_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ LD \end{pmatrix} \tag{6}$$

Starting from the same concept of the change of the components X, Y of the velocity (Gallimore & Beaton, 1994), the components X, Y of $\overrightarrow{FA}$ change with respect to an angle of rotation θ.

$$R_{\theta+}(\overrightarrow{FA}) = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ LD \end{pmatrix} \tag{7}$$

Then:

$$R_{\theta+}(\overrightarrow{FA}) = \begin{pmatrix} FA_x \\ FA_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin\theta & LD \\ \cos\theta & LD \end{pmatrix} \tag{8}$$

Therefore, the equation of the repulsion component implemented in the microcontroller is:

$$FA_X = \sin\theta * LD \tag{9}$$

In this case the sign (-) indicates that a positive rotation occurred, as shown in Fig. 4.

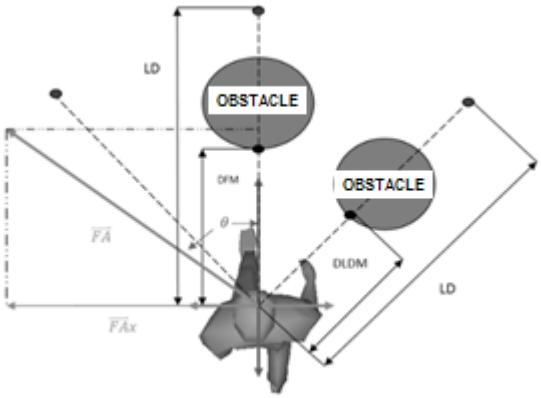


Figure 4 – Implementation scheme (Mode 1)

When there are no obstacles, no force is generated that allows altering the (X,Y) components of Ud, so the robot does not change its trajectory, always going to the front. From this same analysis, the θ equation for the controller emerges, in the case of a negative rotation $\overrightarrow{FA}$.

$$\theta_ = \begin{cases} \cos^{-1}(\beta 1) & si \quad LD \leq DFM \quad y \quad DLDM \leq LD \\ \cos^{-1}(\beta 2) & si \quad DFM \leq LD \quad y \quad DLDM \leq LD \\ 0 & Si\ no\ se\ detecta\ objeto \end{cases} \tag{10}$$

For this case, knowing that the domain of the function $\cos^{-1}(x)$ is [-1,1], and since the distance is a non-negative scalar quantity, we conclude that $0 \leq \beta 1 \leq 1$, thus:

$$\beta 1 = \frac{LD}{LD + (LD - DLDM)} \tag{11}$$

$$\beta 2 = \frac{DFM}{LD + (LD - DLDM)} \tag{12}$$

Using (11) the change of the angle θ is calculated in an environment in which an obstacle is detected in the right lateral zone. Equation (12) allows to calculate the angle θ in an environment where obstacles are detected in the right lateral zone.

Replacing (11) and (12) in (10):

$$\theta_{-} = \begin{cases} \cos^{-1}\left(\dfrac{LD}{LD + (LD - DLDM)}\right) & si \quad LD \leq DFM \quad y \quad DLDM \leq LD \\ \cos^{-1}\left(\dfrac{DFM}{LD + (LD - DLDM)}\right) & si \quad DFM \leq LD \quad y \quad DLDM \leq LD \\ 0 & si \quad no\ se\ detecta\ obstáculo \end{cases} \tag{13}$$

For a negative rotation, we have:

$$\theta_{+} = \begin{cases} \cos^{-1}\left(\dfrac{LD}{LD + (LD - DLIM)}\right) & si \quad LD \leq DFM \quad y \quad DLIM \leq LD \\ \cos^{-1}\left(\dfrac{DFM}{LD + (LD - DLIM)}\right) & si \quad DFM \leq LD \quad y \quad DLIM \leq LD \\ 0 & si \quad no\ se\ detecta\ obstáculo \end{cases} \tag{14}$$

From equation (9) it is recognized that: $0 \leq FA_X \leq LD$.

If FAX approaches LD, the voltage applied to the vibration motors tends to maximum. If FAX approaches 0, the voltage applied to the motors tends to 0.

3.2. Single front detection mode (Mode 2)

In operating mode 2, shown in Fig. 5, there is a transfer function that relates distance and voltage.

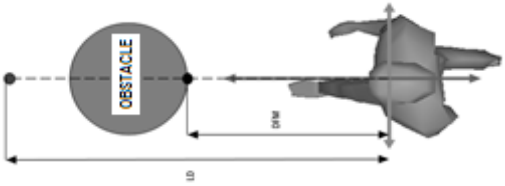


Figure 5 – Scheme of the method to be implemented (Mode 2)

The distance between the user and the objects that are in front of it will be measured, considering that, at lower distances from obstacles, the higher the level of vibration and vice versa.

3.3. Electronic System

Once the operation of the control algorithm is explained, the hardware is built, using as its main element an ATMEGA164P microcontroller.

As shown in Fig. 6, the system is formed by 2 control modules, the first is the main control module, the second is the motor control module. The main control module sends signals wirelessly to the motor control module, so that, based on these commands, it is allowed to change the magnitude of vibration in the motors.

The system is mounted on a vest. The different electronic systems are not visible to the naked eye, since these are inside the vest, in order to improve the social integration of the system.

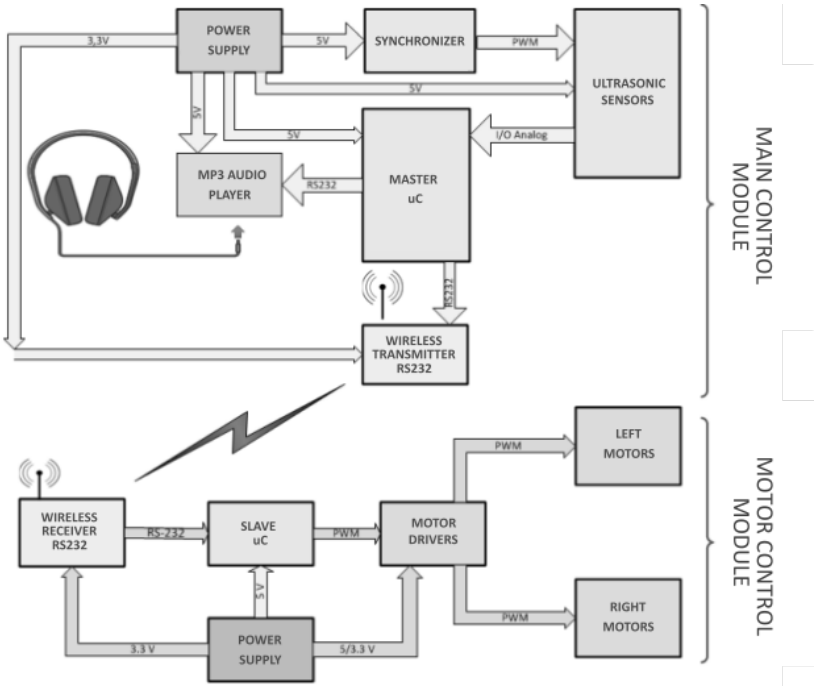


Figure 6 – General scheme of the electronic system

The different electronic systems are installed inside the vest in places where they can be easily handled by the user. The faceplate that supports the used ultrasonic sensors is also installed. Fig. 7 shows the final presentation of the system, once all the electronic systems have been installed.

Figure 7 – Final presentation of the system

4. Results

The tests are carried out in a structured environment, on a flat terrain, free of stairs, ramps and irregularities, with fixed objects. The system will be able to detect objects that are more than one meter above the floor, thus discriminating low, small or found objects on the floor because this is a complementary system to the white cane as presented in Ñiacasha & Sotomayor (2004).

The final tests were carried out in the care center for people with disabilities. In this case, the tests were carried out at the day care center for people with disabilities Atahualpa, located in the south of the city of Quito, on Alonso de Angulo and Cardenal de la Torre streets.

A group of 6 people with ages between 22 to 64 years, disabled with different visual diseases and blindness levels is selected.

4.1. Tests with and without the white cane

These tests were only carried out with 2 disabled people, in mode 2 of operation in order to study the effectiveness of the cane and the prototype as complementary systems.

The environment chosen for the tests was the courtyard of the center for disabled people. This environment was chosen because it is wide, presents obstacles that could be found in the daily life of a blind person, such as vehicles, people, sidewalks, objects suspended in the air, the latter are not detected by the cane.

In this test collisions do not occur when using the system, fulfilling the purpose of being a complementary system to the white cane. Without the white cane, the person also perceives the presence of objects and changes trajectories by evading them.

When the white cane is not used, collisions and trips occur with low objects or irregularities of the terrain, although in a flat terrain these problems do not occur, giving the impression that the white cane is replaced by our system. In this test, people were able to show that this system is very comfortable and safe when detecting danger.

4.2. Tests with Mode 1 (frontal and lateral detection)

In this case, the participants had fixed obstacles, being these people and objects that were around, in order to structure an environment and obtain our conclusions.

In Fig. 8 the changes of directions can be observed when the presence of obstacles is detected, which demonstrates the effectiveness of this evasion strategy. The evasion strategy shows to be effective if the appropriate limit of detection is chosen, depending on the environment, since in narrow environments where there is little space to move, it is not advisable to use a very large detection limit.

4.3. Tests with Mode 2 (front detection only)

This test evaluates the functionality of mode 2 of operation. As in the previous case, the tests were carried out in the center courtyard, using people as fixed obstacles and the objects that were around to structure a test environment as shown in Fig. 9 a) and b). No collisions occurred in this mode, the system shows to be effective in

detecting fixed obstacles, but it has certain drawbacks when used in an environment with moving objects.

(a) (b)

Figure 8 – Funcionality test (Mode 1)

(a) (b)

Figure 9 – Funcionality test (Mode 2)

This mode of operation shows to be more effective in users with low vision and helps to determine a possible obstacle-free direction by which the user could move. As in the previous case, by not using the cane, there is a risk of hitting low objects, and once again the problems are evident due to the angle of incidence of the ultrasonic beam and the type of material of the obstacles.

4.4.Tests with sighted people and mobile obstacles (mode 1 and mode2)

This test was performed in an environment with mobile obstacles in mode 1 and mode 2, showing acceptable results, test environment as shown in Fig. 10. However, it was evidenced that it is more difficult to use the system for sighted people. People with visual disabilities show greater security when using this type of systems.

For people with a high degree of visual disability, it is more difficult to determine if the obstacle is fixed or mobile, since the system does not provide this information, so this factor must be considered when using the system.

Figure 10 – Tests with sighted people

5. Conclusions

The control algorithms for mobile robot navigation can be modified for purposes of improving the efficiency of man-machine systems; in this case, for the help in the mobility of blind people.

According to the field tests carried out, the system must be used in conjunction with the white cane, since, when only big objects are detected, it does not consider objects that are on the floor, which could represent a potential danger for the user.

The level of visual disability is an important factor when using this prototype, since for people with a low level of vision it adapts without any problem and helps them to mobilize in a better way. However, for people for whom the level of visual disability is very high, there are still some drawbacks of adaptation.

Acknowledgements

The authors are grateful for the support of the LARSI, Robotics and Intelligent Systems Laboratory, and the DACI, Department of automation and Industrial Control from Escuela Politécnica Nacional.

References

F. Mon. (2015). *El Entrenamiento en orientación y movilidad de las personas con baja visión* [Internet]. Retrieved from: http://discapacidadvisualipc.blogspot.com/2013/02/orientacion-y-movilidad.html.

Gallimore, D., & Beaton, T. (1994). Sonic Pathfinder: Utilised by 'Geoff', an intellectually and Vision impaired Client. *Proceedings of the 7th. International Mobility Conference*, Melbourne (180 – 182).

Borenstein, J., & Ulrich, I. (1997). The GuideCane - A Computerized Travel Aid for the Active Guidance of Blind Pedestrians. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Albuquerque (1283-1288).

Tendencias21. (2016). Comienza a comercializarse un bastón electrónico para ciegos. Tendencias Técnológicas. http://www.tendencias21.net/Comienza-a-comercializarse-un-baston-electronico-para-ciegos_a283.html. Obtenido enero 2016.

Tapu, R., Mocanu, B., & Tapu, E. (2014). A survey on wearable devices used to assist the visual impaired user navigation in outdoor environments, *11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC)*, Romania (1-4).

Rosales, A., Scaglia, G., Mut, V., & D'Sciacio, F. (2009). Navegación de robots móviles en entornos no estructurados utilizando álgebra lineal. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 6 (2), 79–88.

Ortigoza, R., Aranda, M., Ortigoza, G., Guzman, V., Vilchis, M., & González, G. (2012). Wheeled Mobile Robots: A review. *Latin America Transactions, IEEE*, 10 (6), 2209–2217.

Ñiacasha, N., Sotomayor, N. (2004). Desarrollo de un dispositivo que mida distancia a un objeto emulando el efecto de un bastón blanco para personas invidentes, Escuela Politécnica Nacional.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 03/05/2019
Aceitação/Acceptance: 27/07/2019

Comparación de dos enfoques para la enseñanza en Control de Procesos: Simulación versus Implementación

Jeysson Tapia[1], Ana Rodas[1], Oscar Camacho[1].

jeysson.tapia@epn.edu.ec, ana.rodas@epn.edu.ec, oscar.camacho@epn.edu.ec

[1] Departamento de Automatización y Control Industrial, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara, E11-253, 170525, Quito, Ecuador.

Pages: 206–219

Resumen: Este trabajo presenta el diseño y ensamblaje de un módulo didáctico que permite controlar el nivel en 2 tanques simultáneamente, con un control de caudal en su lazo interno. En base a su diseño se obtiene el modelo, el mismo que es implementado en Simulink. La interfaz entre el operador y el computador (HMI) se realiza en LabVIEW, donde adicionalmente se programan los controladores para la implementación física. En cambio, para la simulación se utiliza Simulink. El análisis de acoplamiento se realiza con la linealización del modelo no lineal en simulación y con curvas de reacción en la implementación. Se diseña y se sintonizan los controladores PID, Cascada y Feedforward en base a curvas de reacción usando FIT3 y mediante la integral cuadrática del error (ISE) se compara los resultados obtenidos tanto en la simulación como en la implementación.

Palabras clave: Sistema interactuante de tanques; Acondicionamiento; Controlador PID; Controlador en Cascada; Controlador Feedforward.

Comparison of two approaches to teaching in Process Control: Simulation versus Implementation

Abstract: In this work a didactic module is designed and assembled; this module allows to control the level in 2 tanks simultaneously, also a flow controller is included in its internal loop. The model is implemented in Simulink. The Human Machine Interface (HMI) is done in LabVIEW, this HMI contains the controllers. The coupling analysis is carried out with the linearization of the non-linear model in simulation and with reaction curves in the implementation. The design and tuning of PID, Cascade and Feedforward controllers are made based on reaction curves using FIT3 and the Integral Square Error (ISE) compares the results obtained in both simulation and implementation.

Keywords: Interactive Tank System, Conditioning, PID Control, Cascade Controller, Feedforward Controller.

1. Introducción

El desarrollo de la academia y la industria siempre ha sido simultaáneo, por lo que los requerimientos que surgen para mejorar los procesos dentro de las diferentes industrias son realimentados a la academia, para lograr una solución en conjunto. Por esta razón la academia busca formas de preparar a sus estudiantes para que salgan lo más capacitados posibles. Es así como se implementan en las cátedras módulos didácticos (Świder, Michalski, & Wszołek, 2006) y simulaciones de procesos industriales (González & Noriega, 2012); sin embargo, siempre existirá una gran brecha entre los procesos simulados y los implementados, ya que en la simulación se asumen parámetros ideales, siendo ésta la causa del por qué se analizan estos dos métodos de enseñanza. Por ejemplo, en el sistema de 4 tanques estudiado tanto en simulación (Buciakowski, Witczak, & Korbicz, 2017; Johansson, 2000), donde se aplican estrategias de control avanzadas como controladores por modos deslizantes (Camacho & Smith, 2000), asi también como en implementación, donde se prueban las acciones de control en los elementos finales de control como bombas o válvulas.

Este articulo presenta el desarrollo de un sistema de 2 tanques interconectados tanto en simulación como en implementación real, en donde se controlará el nivel de los dos tanques de forma simultánea, mediante controladores PID, Cascada y Feedforward (Seborg, Mellichamp, Edgar, & Doyle III, 2016; Smith & Corripio, 2005). El objetivo es que los estudiantes conceptualicen que la teoría ya aprendida se puede aplicar tanto en la simulación como también en la implementación física en los módulos, teniendo en cuenta que en la práctica con los módulos se debe tener más cuidado e inclusive se debe sintonizar los controladores finamente. Adicionalmente en este escrito se acondiciona un transmisor ultrasónico para ser usado en aplicaciones industriales de bajos requerimientos (Creus, 2011).

En las siguientes secciones se describe la modelación del módulo didáctico, el diseño y la sintonización de los controladores en simulación, así como el ensamblaje del módulo didáctico, acondicionamiento del transmisor ultrasónico de nivel del tanque inferior, diseño y sintonización de controladores, además de la comparación de los resultados obtenidos de los tres controladores aplicados (PID, Cascada y Feedforward), tanto en la simulación como en la implementación, mediante la integral cuadrática del error ISE.

2. Materiales y metodología

2.1. Descripción de la estructura del módulo didáctico

El módulo didáctico posee varios elementos, en su mayoría de la línea didáctica de Festo (Festo, 2008; Helmich, 2008), de los que se resaltan dos tanques de 10L, una bomba proporcional, una válvula proporcional, una válvula neumática, un transmisor ultrasónico de nivel y un transmisor de caudal. El P&ID del esquema general que es usado tanto para la modelación como para la implementación se presenta en la Figura 1. En el gráfico se tiene que T-1 es el tanque 1, T-2 es el tanque 2, T-3 es el tanque 3, LT-1 es el transmisor de nivel del tanque 1, LT-2 es transmisor de nivel del tanque 2, V es la

válvula proporcional y P es la bomba proporcional. Este esquema puede servir para la aplicación de diferentes estrategias de control, sin alterar la configuración general del mismo. Para obtener los datos de las variables a controlarse desde el módulo, como también para enviar las señales de control hacia el módulo, se utiliza una interfaz de usuario EasyPort (Eberhardt & Löffler, 2015), la misma que es compatible con LabVIEW.

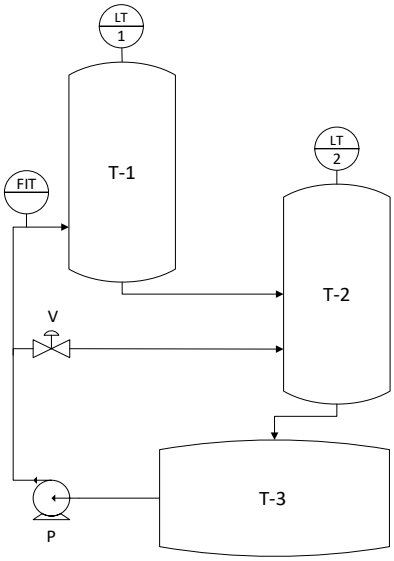


Figura 1 – Diagrama de proceso e instrumentos (P&ID) general implementado en el módulo didáctico.

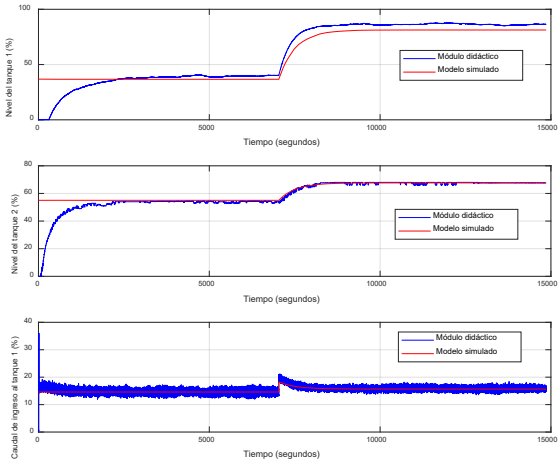


Figura 2 – Comparación entre las respuestas obtenidas del módulo didáctico, con las obtenidas del modelo simulado, frente a un cambio del 5% en la potencia de la bomba.

2.2. Modelización del proceso

La modelización del proceso consistió en tres fases, las mismas que se desarrollaron secuencialmente y produjeron como resultado final que las respuestas que ofrece el modelo simulado sean semejantes a las respuestas del módulo implementado. Estas fases fueron: modelación teórica, modelación experimental y modelación experimental corregida, las mismas que se detallan en (Tapia, 2019). Tanto la modelación experimental como la experimental corregida se realizaron con el módulo ensamblado, puesto que se necesitaban las respuestas reales que éste ofrecía. La Figura 2 y la Figura 3 presentan la comparación entre las respuestas reales que ofrece el módulo con las respuestas que se tiene en la simulación del modelo, frente a un cambio en la potencia de la bomba del 5% y un cambio en apertura de la válvula del 10%.

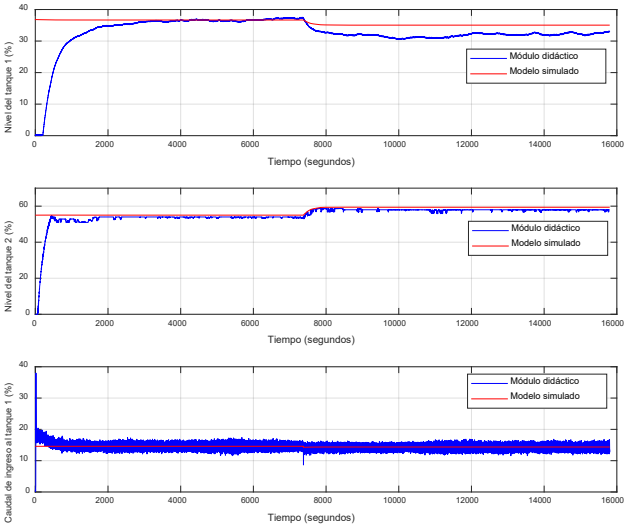


Figura 3 – Comparación entre las respuestas obtenidas del módulo didáctico, con las obtenidas del modelo simulado, frente a un cambio del 10% en la apertura de la válvula.

2.3. Acondicionamiento del transmisor ultrasónico de nivel

Debido a que únicamente se tenía un trasmisor ultrasónico industrial para medir nivel en el tanque 1 se vio la necesidad de colcocar otro transmisor ultrasónico para medir el nivel del tanque 2. Para ello se acondicionó un sensor ultrasónico comercial basado en Arduino y mediante la programación de un filtro de media móvil (Llamas, 2018) se logró que la respuesta del transmisor acondicionado sea muy semejante a la que presenta el transmisor industrial. El trasmisor consta de un sensor HCSR04 (Circuits4you.com, 2016; Microkits Electronica, 2018) y un Arduino nano (Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5, 2008; Mikrocontroller.net, 2016) el cual se conecta de forma directa al computador. Adicionalmente se requirió de una caja protectora para el transmisor,

la misma que se realizó en el software SolidWorks (Corporation Dassault Systèmes SolidWorks, 2017) y fue impresa en PLA.

La Figura 4 presenta una comparación entre la respuesta del transmisor acondicionado con la respuesta del transmisor industrial, donde se puede comprobar la estabilidad y respuesta del transmisor acondicionado.

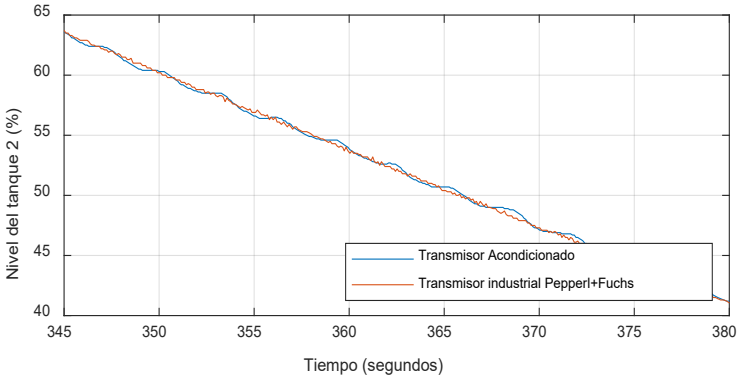


Figura 4 – Comparación entre el transmisor acondicionado y el transmisor industrial.

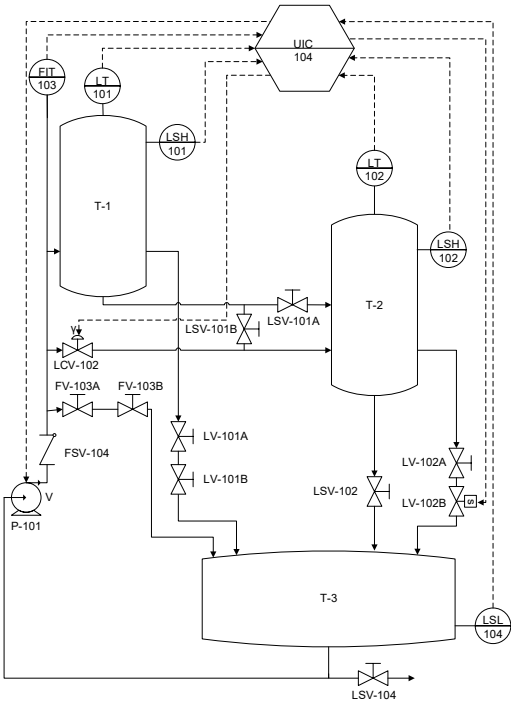


Figura 5 – P&ID del módulo didáctico.

2.4. Ensamblaje del módulo didáctico

Teniendo todos los elementos listos se ensambló el módulo didáctico siguiendo el P&ID presentado en la Figura 5. La interfaz humano-máquina (HMI) se implementó en LabVIEW y en él se desarrollaron, de una manera sencilla y eficiente, los esquemas de control PID, Cascada y Feedforward.

2.5. Implementación de controladores en la simulación

Antes de implementar los controladores en el modelo simulado se debe analizar la forma de acoplamiento que tiene sistema, lo cual se hace mediante el análisis de las respuestas que éste presenta. Este análisis dio como resultado que se tiene mayor interacción entre la potencia de la bomba y el nivel del tanque 1 y entre la apertura de la válvula y el nivel del tanque 2. Debido a la facilidad que presenta la simulación, además de que siempre se parte del punto de operación, se decidió implementar en ella desacopladores, los mismos que se calculan a partir de las curvas de reacción obtenidas para el análisis de acoplamiento. Estos desacopladores se calcularon en base a la teoría presentada por el libro de Smith (Smith & Corripio, 2005), dando como resultado (1) y (2) que al ser implementadas en el modelo, producen cambios en sus respuestas al desvincular significativamente la relación cruzada que existe entre las entradas y las salidas del sistema.

$$D_{12}(s) = \frac{0.058697 \cdot (s + 0.002186)}{s + 0.005172} \tag{1}$$

$$D_{21}(s) = \frac{-1.63387 \cdot (s + 0.005164)}{s + 0.00199} \tag{2}$$

Constantes	PID	Cascada	Feedforward
Constantes del controlador de nivel del tanque 1	PI de Skogestad, para sistemas sin retardo: K_C=1.3366 T_i=103.234s	PI de Skogestad, para sistemas sin retardo: K_C=0.7081 T_i=237.593s	PI de Skogestad, para sistemas sin retardo: K_C=1.3366 T_i=103.234s
Constantes del controlador de nivel del taque 2	PI de Chien et al: K_C=56.1035 T_i=181.3980s	PI de Chien et al: K_C=56.1035 T_i=181.3980s	PI de Chien et al: K_C=56.1035 T_i=181.3980s
Constantes del controlador del caudal de ingreso al tanque 1	No necesario	PI de Skogestad, para sistema con retardo: K_C=6.2870 T_i=0.0722s	No necesario
Constante de la realimentación de la perturbación 2 (fuga del tanque 2)	No necesario	No necesario	Controlador estático: K_C=4.00825

Tabla 1 – Constantes de los controladores implementados en la simulación.

Posteriormente, para el diseño de los controladores, se vuelve a analizar la variación que sufren las salidas del sistema frente a los cambios en sus entradas, denominadas "curvas de reacción", y se obtienen las funciones de transferencia lineales que describen el comportamiento del sistema; en base a éstas se calculan las diferentes constantes de los controladores (Haugen, 2012; O'Dwyer, 2009). Partiendo tanto de (3), que describe el comportamiento del nivel del tanque 1 en función de la potencia de la bomba, y de (4), que describe comportamiento del nivel del tanque 2 en función de la apertura de la válvula (ambas en la simulación), se calculan los controladores basándose en algunas ecuaciones de sintonización presentadas en el libro de O'Dwyer (O'Dwyer, 2009) y las que presenta Skogestad (Haugen, 2012). Estas ecuaciones se escogieron porque al compararlas con las demás produjeron el menor ISE, además de ser de fácil implementación. Las constantes de los controladores que se utilizó son las que se presentan en la Tabla 1. Cabe recalcar que el cálculo de las constantes del controlador del lazo interno del controlador en Cascada se realizó en base a la respuesta que presenta el caudal de ingreso al tanque 1 y para su diseño se utilizó el método de múltiples lazos (Smith & Corripio, 2005); por otro lado, las constantes del controlador Feedforward se obtuvieron con la curva de reacción que presentaba el sistema cuando se le aplicaba la perturbación 2 (Fuga de agua del tanque 2).

$$G_{P_{BomT_1 simulado}} = \frac{14.963}{516.168s + 1} \tag{3}$$

$$G_{P_{ValT_2 simulado}} = \frac{0.9695}{181.398s + 1} e^{-2.001s} \tag{4}$$

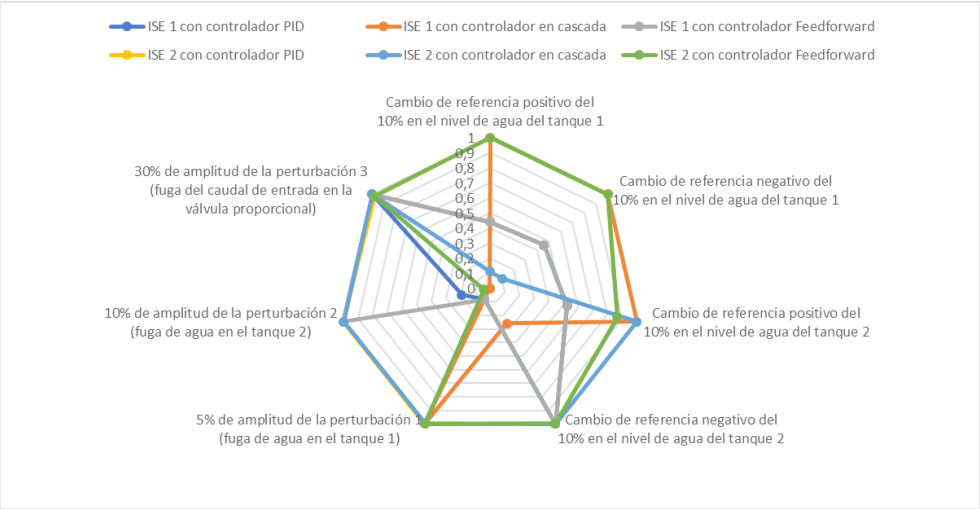


Figura 6 – Comparación de los controladores simulados, mediante el ISE, frente a distintas situaciones

Constantes	PID	Cascada	Feedforward
Constantes del controlador de nivel del tanque 1	PI de Skogestad, para sistemas sin retardo: K_C=13.129 T_i=0.094min	PI de Dahlin ajustado: K_C=9.137 T_i=1.056min	PI de Skogestad, para sistemas sin retardo: K_C=13.129 T_i=0.094mins
Constantes del controlador de nivel del taque 2	PI de Ziegler y Nichols: K_C=4.292 T_i=0.972min	PI de Ziegler y Nichols: K_C=4.292 T_i=0.972min	PI de Ziegler y Nichols: K_C=4.292 T_i=0.972min
Constantes del controlador del caudal de ingreso al tanque 1	No necesario	PI de Dahlin ajustado: K_C=0.834 T_i=0.010min	No necesario
Constante de la realimentación de la perturbación 2 (fuga del tanque 2)	No necesario	No necesario	Controlador estático: K_C=0.5702

Tabla 2 – Parámetros de ajuste de los controladores implementados en el módulo didáctico.

2.6. Implementación de controladores en el módulo didáctico

Al igual que en la simulación, se intentó aplicar desacopladores en el módulo didáctico; sin embargo, ya que el sistema no parte de las condiciones de equilibrio y si se colocaba un interruptor que habilite a los desacopladores le quitaba autonomía al sistema, se optó por no aplicarlos. Además, al realizar las pruebas con los desacopladores, éstos no mejoraban las respuestas del sistema, sino que más bien lo volvían inestable en ciertas circunstancias. Analizado estas situaciones y tomando en cuenta que en el proyecto (Tapia, 2019) no se consideró aplicar desacopladores, se decidió no aplicarlos en la implementación y que sea un plus su aplicación en la simulación. El diseño de los controladores se realizó en base a las curvas de reacción obtenidas del sistema implementado, cuyas funciones de trasferencia resultantes son las que se presentan en (5) y (6), que al igual que en la simulación se calcularon mediante FIT3 (Smith & Corripio, 2005). En (5) se describe el comportamiento del nivel del tanque 1 en función de la potencia de la bomba y en (6) se describe el comportamiento del nivel del tanque 2 en función de la apertura de la válvula, ambos en el módulo implementado.

$$G_{P_{BomT_1 implementado}} = \frac{13.853}{6.0564s + 1} \tag{5}$$

$$G_{P_{ValT_2 implementado}} = \frac{0.94}{1.308s + 1} e^{-0.2918s} \tag{6}$$

Considerando las funciones de transferencia anteriores, que son las que describen el sistema general y tomando en cuenta las otras respuestas que presenta el sistema, como son la respuesta del caudal de entrada al tanque 1, frente a un cambio en la

potencia de la bomba y la respuesta que ofrece el nivel del tanque 2, frente a la perturbación 2 (fuga del tanque 2), se calculan las constantes de los controladores en base a las fórmulas de sintonización que presenta O'Dwyer (O'Dwyer, 2009) y Skogestad (Haugen, 2012), las mismas que se muestran en la Tabla 2. Para obtener una respuesta más eficiente con el controlador en Cascada, se realizó un ajuste fino en las constantes, ya que con las que se calcularon no se obtuvo la respuesta que se esperaba, debido que al tratarse de un módulo implementado las constantes de sintonización son susceptibles a un ajuste fino.

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tanto en la simulación como en la implementación, considerando en ambos casos a los 3 controladores y determinado la eficiencia de cada uno de ellos. Además, se presenta relación del presente trabajo con las actividades didácticas que sirven para el aprendizaje de la materia de Control de Procesos Industriales.

3.1. Resultados de la simulación

Se aplicaron tres controladores (PID, Cascada y Feedforward), los cuales fueron comparados entre ellos, mediante cambios de referencia de nivel y mediante la aplicación de perturbaciones, dando como resultado la Figura 6. Las comparaciones se realizaron calculando el ISE, que presenta tanto el nivel del tanque 1 (ISE 1) como el nivel del tanque 2 (ISE 2). En este gráfico radial se puede notar que en cualquiera de las situaciones los tres controladores son eficientes, pero el controlador en Cascada responde mejor frente a la perturbación 3, mientras que el controlador Feedforward responde mejor frente a

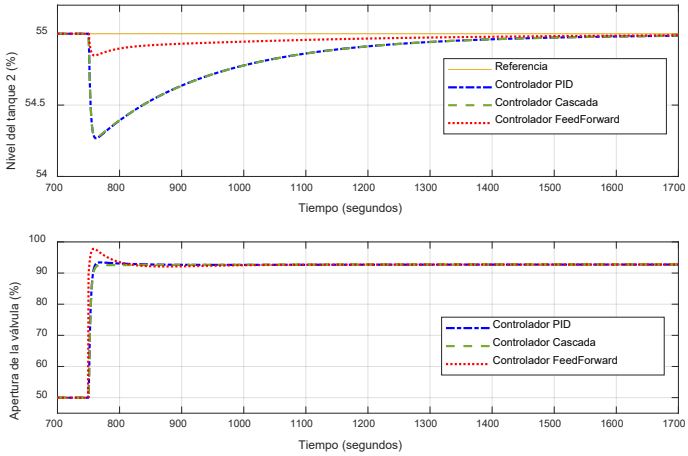


Figura 7 – Respuestas del modelo simulado, frente al 10% de la apertura de la válvula que emula la perturbación 2 (fuga del tanque 2).

la perturbación 2. En la Figura 7 se puede notar que el controlador Feedforward es más eficiente controlado la perturbación 2 (Fuga de tanque 2); mientras que en la Figura 8 se puede notar que el controlador en Cascada es el más eficiente para controlar la perturbación 3; verificando que la teoría se cumple en la simulación.

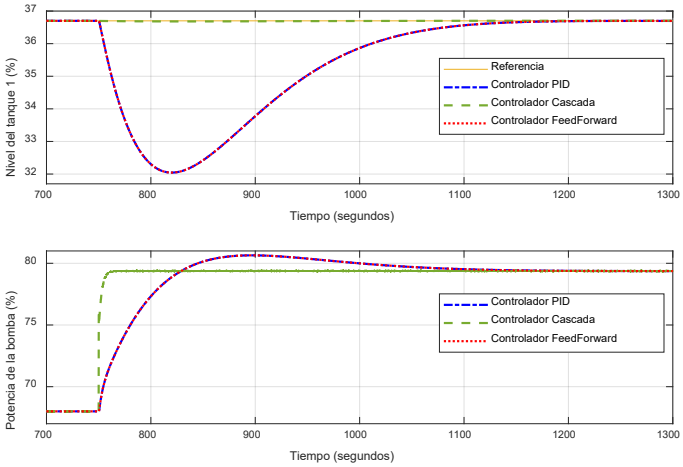


Figura 8 – Respuestas del modelo simulado, frente al 30% de la apertura de la válvula que emula la perturbación 3 (fuga del caudal de entrada en la válvula proporcional).

3.2. Resultados de la implementación

Al igual que en la simulación, en la implementación también se diseñó tres controladores, los cuales se comparan entre si frente a diferentes situaciones, mediante la obtención del ISE, tanto del nivel del tanque 1 (ISE 1), como del nivel del tanque 2 (ISE 2), cuya comparación se encuentra en la Figura 9. Los ISE calculados poseen valores altos, ya que al ser un sistema implementado la respuesta no siempre será una línea recta, además de que existe una infinidad de datos ya que el tiempo de muestreo del módulo es de 50ms. Analizando las respuestas se llegó a la conclusión de que aún cuando los tres controladores son capaces de manejar cualquier situación, el controlador en cascada es el mejor manejando la perturbación 3, mientras que el controlador Feedforward es el mejor manejando la perturbación 2, comprobando la teoría en la implementación. En la Figura 10 se puede comprobar que el controlador Feedforward es más eficiente que los demás, aunque se presente un cambio un poco brusco en la acción de control de la válvula proporcional, sin embargo, al tratarse de una válvula pequeña y de alta fiabilidad este tipo de cambios no la afectan a su autonomía ya que posee una rampa de accionamiento interna. La Figura 11 presenta la comparación de los tres controladores frente a la perturbación 3, donde se puede notar que el controlador en Cascada es el que posee una mejor respuesta ya que controla muy bien el efecto de la perturbación sobre la variable de interés.

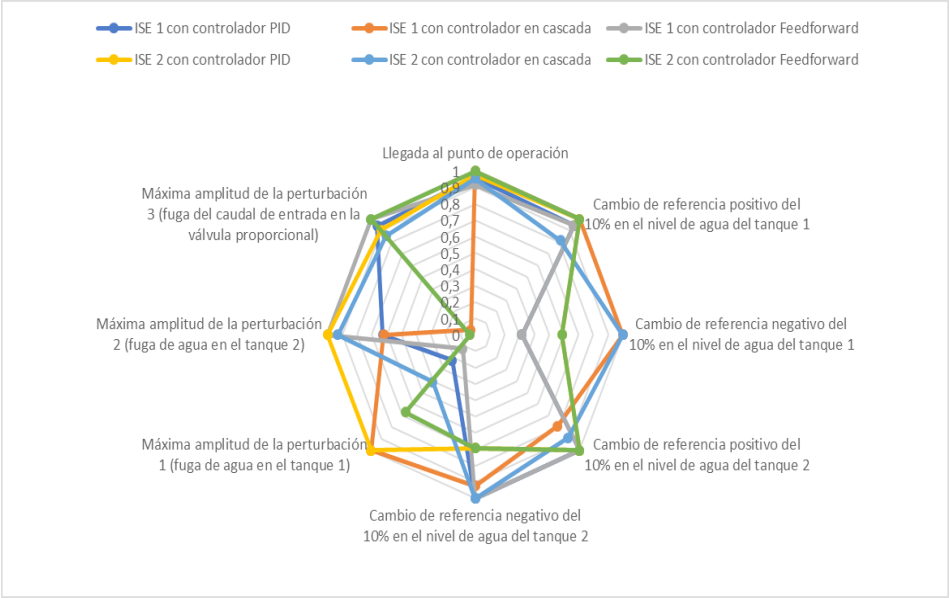


Figura 9 – Comparación de los controladores implementados, mediante el ISE, frente a distintas situaciones.

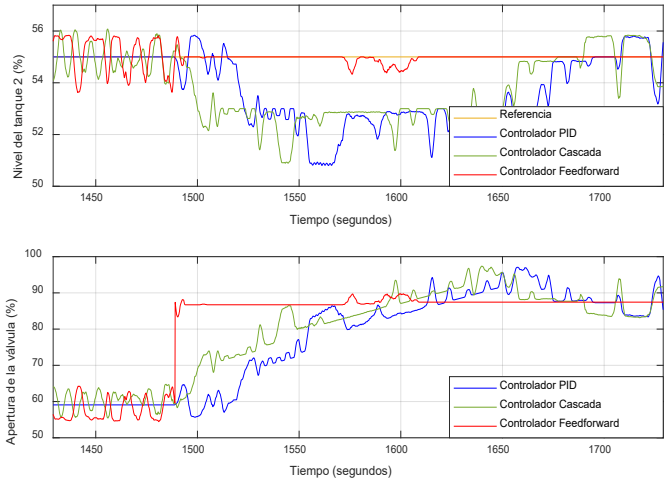


Figura 10 – Respuestas del módulo didáctico implementado, frente a la máxima amplitud que puede tomar la perturbación 2.

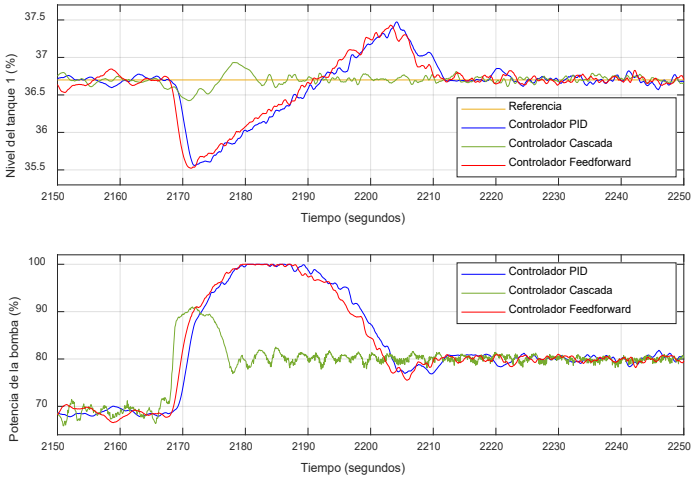


Figura 11 – Respuestas del módulo didáctico implementado, frente a la máxima amplitud que puede tomar la perturbación 3

3.3. Relación del módulo con las actividades didácticas

A lo largo de la elaboración del presente proyecto, se realizaron varias exposiciones tanto a estudiantes como a profesores; estas exposiciones consistieron en tres etapas: exposición de la parte teórica, presentación de la simulación y demostración del funcionamiento del módulo didáctico. Al realizar la exposición de la parte teórica a los estudiantes, estos no se mostraban entusiasmados, pese que algunos grupos ya conocían del tema. Dicha situación se pudo notar debido a que presentaban signos de aburrimiento; sin embargo, al presentar la simulación esto cambión ya que los estudiantes mostraron un mayor interés al ver que la teoría ya amprendida funciona en simulación y es así como realizaron multiples pregntas para aclarar dudas que surguieron en la exposición. Finalmente, al mostrar a los estudiantes el funcionamiento del módulo real, estos se mostraron muy entusiasmados al momento de manipularlo y conocer que, en base a la teoría que aprendieron en la materia de Control de Procesos Industriales, pueden controlar a cabalidad un proceso real. De esta forma se comprueba que a muchos estudiantes les atrae el hecho de probar sus conociemientos con simulaciones de procesos reales o modulos didácticos, consolidando de mejor manera los conocimientos teóricos ya adquiridos.

4. Conclusiones

En simulación se puede realizar diferentes pruebas de forma más rápida y sin correr el riesgo de averiar algún elemento, pero en la implementación, siempre se deben seguir normas de seguridad o estar pendientes del sistema al variar algún parámetro, ya que un error podría ocasionar algún daño en el equipo o incluso en el personal.

Al intentar modelar un sistema de la forma más cercana posible a un modelo real se deben tomar muchas consideraciones para poder determinar la mayor cantidad de efectos; sin embargo, esto es muy complejo y existen efectos que no pueden ser modelizados a cabalidad. Si estos no afectan sustancialmente al proceso pueden no ser tomados en cuenta en la modelación y simulación teórica, la misma que ayuda mucho a entender lo que podría producir en el sistema real.

La implementación de los módulos didácticos, aunque es más difícil de aplicar y más costosa, sin duda es una mejor experiencia de aprendizaje ya que se trabaja con elementos reales y se tiene la ventaja de experimentar la sensación de peligro, lo que dará más seguridad a los estudiantes cuando se enfrenten al mundo laboral.

Referencias

Buciakowski, M., Witczak, M., & Korbicz, J. (2017). A quadratic boundedness approach to fault tolerant control for nonlinear system. *IFAC-PapersOnLine*, *50*(1), 2101–2106. doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.532

Camacho, O., & Smith, C. A. (2000). Sliding mode control: an approach to regulate nonlinear chemical processes. *ISA Transactions*, *39*(2), 205–218. doi: 10.1016/S0019-0578(99)00043-9

Circuits4you.com. (2016). Sensor HCSR04. Recuperado de https://www.pinterest.es/pin/789607747142904116/

Corporation Dassault Systèmes SolidWorks. (2017). SolidWorks. Recuperado de https://www.solidworks.com/es

Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5. (2008). Arduino Nano. Recuperado de https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf

Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial* (8a ed.). México D.F., México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Eberhardt, H., & Löffler, C. (2015). *EasyPort USB Manual*. Recuperado de http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/721876_deenesfr_mit_lesezeichen_4.pdf

Festo. (2008). *Hojas de datos MPS® PA Compact Workstation*. Recuperado de http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/mps_pa_es_colecci_n_de_hojas_de_datos_090804.pdf

González, P., & Noriega, R. (2012). *Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para Control de Nivel, Temperatura y Caudal mediante la red de Comunicación de Campo DeviceNet*. (Trabajo de tulación en Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control), Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui, Ecuador.

Haugen, F. (2012). *PID Control* (3a ed.). Noruega, Porsgrunn: TechTeach.

Helmich, J. (2008). *MPS®Compact Workstation Manual*. Recuperado de http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/process-automation/compact-workstation/mps-pa-compact-workstation-with-level,flow-rate,pressure-and-temperature-controlled-systems.htm

Johansson, K. (2000). The quadruple-tank process: a multivariable laboratory process with\nan adjustable zero. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, *8*(3), 456–465. doi: 10.1109/87.845876

Llamas, L. (2018). Mean Filter. Recuperado de https://www.luisllamas.es/libreria-arduino-mean-filter/

Microkits Electronica. (2018). Sensor HCSR04. Recuperado de https://www.microkitselectronica.com/media/attachment/file/h/c/hcsr04.pdf

Mikrocontroller.net. (2016). Arduino Nano. Recuperado de https://www.pinterest.es/pin/573153490052329566/

O'Dwyer, A. (2009). *Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules* (3a ed.). Inglaterra, Londres: Imperial College Press.

Seborg, D., Mellichamp, D., Edgar, T., & Doyle III, F. (2016). *Process Dynamics and Control* (4a ed.). Hoboken, Nueva Jersey, Estados Unidos de América: Wiley.

Smith, C., & Corripio, A. (2005). *Principles and Practice of Automatic Control* (3a ed.). New York, NY, Estados Unidos de América: Wiley.

Świder, J., Michalski, P., & Wszołek, G. (2006). "Laboratory support for the didactic process of engineering processes automation at the Faculty of Mechanical Engineering." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, *15*(1–2), 199-206. Recuperado de http://jamme.acmsse.h2.pl/papers_cams05/1135.pdf

Tapia, J. A. (2019). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para controlar nivel en dos tanques utilizando controladores PID, Cascada y Feedforward*. (Trabajo de titulación en Ingeniería en Electrónica y Control), Departemanto de Automatizaión y Control Industrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 17/06/2019
Aceitação/Acceptance: 25/09/2019

Implementación de un Marco para el Gobierno TI en una Entidad Financiera

Jhondress Honores Ortiz[1], Sussy Bayona-Oré[1]

Irwing-honores@usmp.pe, sbayonao@hotmail.com

[1] Universidad San Martin de Porres, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Av. La Fontana 1250, Santa Patricia 2da. Etapa - La Molina, Perú.

Pages: 220–232

Resumen: Hoy en día las empresas públicas y privadas reconocen a las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) como aliado estratégico. Las organizaciones del sector bancario no son ajenas a esta realidad y deben establecer prácticas para el buen gobierno de las TIC (GTI). Diversos organismos especializados han propuesto marcos de trabajo como COBIT 5, estándares internacionales como ISO/IEC 38500 o marcos nacionales como la NTP-ISO/IEC 38500, con el propósito de que las organizaciones gobiernen de forma eficiente y efectiva las TIC. Este artículo describe la implementación de las buenas prácticas establecidas por COBIT 5 y la NTP-ISO/IEC 38500 en una empresa del sector bancario. Como resultado la organización logró establecer una política para el GTI, reducir las brechas de los procesos versus las buenas prácticas GTI y establecer un conjunto de indicadores para el buen GTI.

Palabras-clave: Gobierno TI; NTP-ISO/IEC 38500; Entidad Financiera; COBIT 5.

Framework for IT Governance in a Financial Institution

Abstract: Nowadays, public or private companies recognize Information and Communication Technologies (ICT) as important strategic resources. The banking industry is not alien to this reality and must establish best practices for good IT Governance (ITG). Various specialized organizations have proposed frameworks: such as COBIT 5 standards: such as ISO/IEC 38500 and national standard as NTP-ISO/IEC 38500 to enable organizations to make good IT governance. This article describes the implementation of best practices established by COBIT 5 and NTP-ISO/IEC 38500. As a result, the organization managed to establish a policy for the ITG reduces process gaps versus ITG good practices and establish a set of indicators for good IT governance.

Keywords: IT governance; NTP-ISO/IEC 38500; ISO/IEC 38500; financial entity; COBIT 5.

1. Introducción

Hoy en día la información asume una importancia creciente y la incorporación de las Tecnologías de Información (TI) se torna fundamental (Abreu, Vidal & Rocha, 2018)

en las organizaciones, para cubrir las necesidades del negocio, crecer y/o, al menos, perdurar en su actividad (Delgado & Velthuis, 2015). Dada la dependencia, se requiere que la organización cuente con directrices, principios y aplique buenas prácticas para el buen Gobierno de TI (GTI). Estudios realizados sobre diversos aspectos sobre GTI en organizaciones del sector publico revelan serias dificultades (Niyonsenga & Mwaulambo, 2018). A pesar de que GTI no es un concepto nuevo, su adopción en las organizaciones públicas en general se queda atrás especialmente en países en desarrollo (Al Qassimi & Rusu, 2015).

Un aspecto importante es que la adopción e implementación de las buenas prácticas de GTI facilita el alineamiento estratégico de los negocios con TI (Wiedenhoft, Luciano & Magnagnagno, 2017). Las buenas prácticas pueden definirse como "los acuerdos y prácticas responsables de cumplir los objetivos y respetar los principios de la gobernanza de TI" (Wiedenhoft et al., 2017, p. 72). Las prácticas pueden ser estructurales, de procesos y de relaciones. Las prácticas estructurales están relacionadas con los derechos y responsabilidades de toma de decisiones sobre TI, las prácticas de proceso están relacionadas con los requerimientos de la infraestructura TI y las prácticas relaciones están relacionadas con TI y el liderazgo organizacional (Chong and Duong, 2017). La organización al implementar buenas prácticas GTI se beneficia por el uso de los recursos para alcanzar sus objetivos estratégicos, crear valor al negocio y contribuir al rendimiento organizacional (Weill & Ross, 2004). Una limitada comprensión de parte de la gerencia del valor de las TI es una dificultad para los Gerentes de TI a pesar de los esfuerzos que realizan (Bayona & Ayala, 2017). Más aún si las gerencias de TI están ubicadas en niveles (en la estructura organizacional) que nos facilita la comunicación con la Alta Dirección.

El buen Gobierno TI (GTI) establece la diferencia entre gestión y gobierno. Sin embargo, esta diferencia no siempre se reconoce y se asume que ambos cumplen la misma función. En algunos casos la organización no realiza una evaluación integral de la organización para elevar la importancia estratégica de las TI, y en otros se realiza por cumplimiento legal, normativo o alguna auditoría y/o externa. Si bien las tendencias en el sector financiero público, tales como la transformación digital y/o el gobierno digital, pretenden cambiar la manera de cómo trabajan las entidades financieras, la adaptación no es fácil. Lo anterior exige una mejora en la formulación y/o ejecución de proyectos relacionados con las tendencias

Diferentes Iniciativas específicas para el buen Gobierno TI se han propuesto tales como: COBIT 5 (ISACA; 2012), ISO/IEC 38500 (ISO/IEC, 2008) y en el caso peruano la NTP-ISO/IEC 38500:2016 (INACAL, 2016) que se soportan en una serie de estándares internacionales sobre TI, cuyo cumplimiento en muchos casos es de carácter voluntario. Cobit 5 establece prácticas y procesos para la efectiva gobernanza TI (Sibanda & Solms, 2018). La Entidad Financiera en estudio se ha propuesto establecer un modelo para el GTI como resultado de un proceso de evaluación, en el que se recomienda establecer esquemas formales de GTI alineados al buen Gobierno Corporativo.

En este artículo se presenta las mejoras alcanzadas por la organización mediante la incorporación de buenas prácticas de COBIT 5 y NTP-ISO/IEC 38500. El propósito es garantizar que exista alineamiento entre las operaciones TI y las estrategias del negocio, "mejorar el uso de las TIC como soporte al rediseño de los procesos internos", así como poder optimizar los riesgos y recursos para hacer frente al constante cambio del entorno.

Este artículo consta de 5 secciones que incluye la introducción. La Sección 2 presenta el marco teórico. La Sección 3 describe la metodología utilizada. En la Sección 4 se presenta los resultados. Finalmente, en la Sección 5 se presenta las conclusiones.

2. Marco Teórico

Gobierno TI (IT governance en inglés) tiene varias definiciones, sin embargo, existen definiciones más aceptadas como del IT Governance Institute (ITGI), Weill & Ross, Forrester o del estándar ISO/IEC 38500. Para Weill & Ross (2004) GTI "es un marco para la toma de decisiones y la asignación de responsabilidades para facilitar el resultado deseado respecto al uso de la TI". Para Forrester GTI "es el proceso por medio del cual se toman decisiones acerca de las inversiones de TI". Mientras que el ITGI lo define como "una responsabilidad de los ejecutivos y del consejo de directores; parte integral del Gobierno Corporativo que consta de liderazgo, estructuras organizacionales y procesos que garantizan que las TI de la empresa soportarán y extenderán las estrategias y objetivos corporativos." El estándar ISO/IEC 38500 (2008) por su parte lo define como "el sistema por el que se dirige y controla la utilización actual y futura de la tecnología de la información." La implementación del GTI está condicionada por un conjunto de factores críticos. Estudios realizados coinciden que, en el sector público, el compromiso y la participación de los altos directivos, cultura organizacional y la conciencia sobre GTI favorecen su implementación (Van Grembergen & De Haes, 2018).

2.1. NTP-ISO/IEC 38500:2016

El propósito de la NTP-ISO/IEC 38500 es proporcionar un marco de principios para los administradores cuando evalúen, dirijan y supervisan el uso de TI en sus organizaciones (INACAL, 2016). La NTP-ISO/IEC 38500 establece seis principios en los que toda organización, independientemente de su composición o envergadura, debe de tener en cuenta al momento de implementar el Gobierno Corporativo de las Tecnologías de Información (GTI). Los seis principios son: Principio 1 - Responsabilidad, Principio 2 -

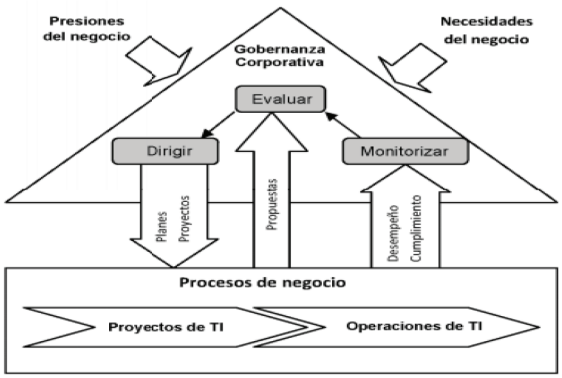


Figura 1 – Modelo de la Gobernanza Corporativa de la TI (ISO/IEC, 2008)

Estrategia, Principio 3 - Adquisición, Principio 4 - Desempeño, Principio 5 - Cumplimiento y Principio 6 - Conducta humana. Los seis principios son la base para el modelo de GTI definido en esta norma. La Figura 1 muestra el modelo GTI según la ISO/IEC 38500.

La GTI se basa en Evaluar, Dirigir y Monitorizar los planes, proyectos, propuestas, el desempeño y cumplimiento de las TI en la organización (INACAL, 2016). El directivo de TI deberá tomar en cuenta las presiones internas y externas, además de las necesidades del negocio.

2.2. COBIT 5

COBIT 5 "ayuda a las organizaciones a crear un valor óptimo a partir de la TI, al mantener un equilibrio entre la realización de beneficios y la optimización de los niveles de riesgo y utilización de los recursos" (ISACA, Capítulo de Panamá, 2012). COBIT 5 tiene como referencia todas las normativas, estándares y buenas prácticas relacionadas con el gobierno y gestión de las TI, tales como la ISO/IEC 38500, ISO/IEC 20000, ISO/IEC 27000 entre otras. De esta forma permite que las TI sean gobernadas y gestionadas de forma integral (holística) en toda la organización. COBIT 5 brinda los principios y procesos catalizadores para que las organizaciones de cualquier envergadura; sean comerciales, sin fines de lucro o del sector público, puedan identificar qué procesos se deben tomar en cuenta para establecer un marco de gobierno y gestión de TI. Los principios que establece COBIT 5 se presentan en la Tabla 1.

Principios	Descripción
N°1 – Satisfacer a las Partes Interesadas.	Las partes interesadas de las organizaciones tienen diversos intereses de beneficio y en el gobierno se trata de negociar y decidir sobre estos intereses. Al tomar decisiones es necesario considerar los beneficios, la evaluación de riesgos y sobre el manejo de los recursos.
N°2 – Cubrir la Empresa extremo a extremo.	COBIT 5 se concentra en el gobierno y la gestión TI con un enfoque integral a nivel de toda la Organización (ISACA, Capítulo de Panamá, 2012). De esta manera COBIT 5 integra GTI en el gobierno corporativo y cubre todas las funciones y los procesos dentro de la organización.
N°3 – Aplicar un Marco de Referencia único e integrado.	COBIT 5 se ha alineado con los últimos marcos y normas relevantes que son utilizados por las organizaciones a nivel corporativo y los relacionados con TI tales como: COSO, ISO/IEC 9000, ISO 31000, ISO/IEC 38500, ITIL, entre otros. Es decir, es un marco que integra el gobierno y gestión de las TI.
N°4 – Hacer posible un enfoque holístico.	Los habilitadores son factores que de forma individual y colectiva influyen para lograr alcanzar las metas. Estos habilitadores son descritos en siete categorías: (1) procesos (2) estructuras organizacionales, (3) cultura, ética y comportamiento de los individuos (4) principios, políticas y marcos, (5) información, (6) servicios e infraestructura y (7) las personas con sus habilidades y competencias.
N°5 Separar el Gobierno de la Gestión.	COBIT 5 establece la diferencia que existe entre el gobierno y la gestión, debido a que requieren diferentes estructuras organizacionales, comprenden diferentes tipos de actividades y sus propositos son diferentes.

Tabla 1 – Principios de COBIT 5

3. Metodología

La implementación de los procesos y buenas prácticas para el GTI, en la Entidad Financiera, se llevó a cabo en cuatro fases a mencionar: Fase 1 Implementación, Fase 2 Construcción de Políticas de Gobierno y Gestión de TI, Fase 3 Construcción de Estándares de Gobierno y Gestión de TI y Fase 4 Construcción de indicadores. La metodología utilizada en cada una de las fases consta de cinco pasos a mencionar: Revisar el estado actual, Definir el estado objetivo, Construir las mejoras, Implantar las mejoras y Supervisar y evaluar las mejoras (ver Figura 2). Del paso "Construir Mejoras", en caso sea necesario, se podrá regresar al paso "Revisar el Estado Actual", esto con la finalidad de garantizar un desarrollo iterativo y ágil.

Figura 2 – Etapas de la metodología adoptada para la construcción de políticas y estándares

3.1. Fase 1: Implementación

Revisión del estado actual – Se revisan las normativas internas del área de TI tales como manuales, directivas, circulares, reglamentos, funciones, entre otros. Se consolida su disponibilidad en el ámbito de gobierno y gestión de TI para su uso posterior, a lo largo de la fase de ejecución del proyecto.

3.2. Fase 2: Construcción de Políticas de Gobierno y Gestión de TI

En cuanto a Gobierno TI:

- Revisión del estado actual – Se revisa el macroproceso de gestión TI para constatar algún indicio de gobierno de TI en la entidad financiera. Se elabora un cuadro de la situación actual.
- Definición del estado objetivo –Se revisa la ISO/IEC 38500 y los procesos habilitadores de Gobierno Corporativo de TI, establecidos en COBIT 5, para definir la base de Gobierno de TI en la Entidad Financiera.
- Construcción de las mejoras – En base a lo revisado en la fase anterior, se empieza a definir el marco de trabajo, los principios y políticas de gobierno de TI. En esta actividad participan todos los roles involucrados en el desarrollo del proyecto.

En cuanto a Gestión TI:

- Revisión del estado actual – Se revisa el macroproceso de gestión TI y lo revisado en la fase inicial de la ejecución, para obtener una visión de cómo se encuentra actualmente la gestión de TI y cómo se encuentra plasmado en la documentación formal.
- Definición del estado objetivo – Con el input de la fase anterior y la revisión de los procesos habilitadores de Gestión Corporativa de TI, establecidos en COBIT 5, se establece la nueva base en donde se plasma la gestión de TI en la Entidad Financiera.
- Construcción de las mejoras – En base a lo revisado en la fase anterior, se empieza a formalizar y definir el marco de trabajo y las políticas de gestión de TI, actualizando el macroproceso de gestión TI. En esta actividad participan todos los roles involucrados en el desarrollo del proyecto.

Implantación de las mejoras

- Teniendo el marco de trabajo, el nuevo macroproceso y las políticas definidas para la implementación de gobierno de TI y la actualización o modernización de la gestión de TI, se elabora un manual donde se consolida todo lo definido en las anteriores fases, teniendo como principal entregable el Manual de Políticas de Gobierno y Gestión de TI; siendo este revisado y aprobado por el patrocinador del proyecto.

3.3. Fase 3: Construcción de Estándares de Gobierno y Gestión de TI

En cuanto a Gobierno TI:

- Revisión del estado actual – Se revisan los procedimientos y funciones que realizan las diferentes áreas de TI, para observar los indicios de gobierno de TI en la Entidad Financiera.
- Definición del estado objetivo – Con las políticas establecidas, la revisión de los procedimientos actuales de la Gerencia de Informática, y la revisión de las actividades y métricas de los procesos habilitadores de gobierno corporativo de TI, establecidos en COBIT 5, se define el marco estándar para el establecimiento y soporte de las políticas de gobierno de TI en la Entidad Financiera.
- Construcción de las mejoras – En base a lo establecido en la fase anterior, se definen los estándares que soporten las políticas y principios de gobierno de TI a implementarse en la Entidad Financiera.

En cuanto a Gestión TI:

- Revisión del estado actual – Se revisan los procedimientos, funciones y documentación formal que utilizan y/o realizan las diferentes áreas de TI, para observar el funcionamiento de la gestión de TI en la Entidad Financiera.
- Definición del estado objetivo – Con las políticas establecidas, la revisión de los procedimientos actuales y documentación formal de la Gerencia de Informática, así como la revisión de las actividades y métricas de los procesos habilitadores de gestión corporativa de TI, establecidos en COBIT 5, se define el nuevo marco

estándar para la actualización y soporte de las políticas de gestión de TI en la Entidad Financiera.
- Construcción de las mejoras – En base a lo establecido en la fase anterior, se definen los estándares que soporten los procedimientos y las políticas actuales de gestión de TI que se realizan en la Entidad Financiera.

Implantación de mejoras

- Teniendo el marco de trabajo, los estándares definidos para la implementación de gobierno de TI y la actualización o modernización de la gestión de TI, se elabora un manual donde se consolida todo lo definido en las anteriores fases, teniendo como principal entregable el Manual de Estándares de Gobierno y Gestión de TI; siendo este revisado y aprobado por el patrocinador del proyecto.

3.4. Fase 4: Construcción de Indicadores

En esta etapa se identifica y se establecen los indicadores claves para el buen GTI. Se explica con mayor detalle en la sección 4.

4. Resultados

Con la implementación de GTI en la Entidad Financiera se han establecido los artefactos de GTI y sus dependencias, estos son: Principios de GTI, Políticas, Estándares, Modelo de gobernanza, Procesos e Indicadores. Bajo una gobernanza corporativa organizacional y gestionando de manera eficiente los factores críticos de éxito para la implementación de GTI. En la Tabla 2 se presenta parte de las normativas internas que fueron revisadas.

4.1. Construcción de las Políticas de Gobierno TI

Luego de revisar todos los documentos normativos, se consolida las disposiciones, objetivo y alcance estipulado en los mismos, esto con el fin de poder identificar qué es lo que posee la Entidad Financiera con respecto al Gobierno y Gestión de TI. En la Tabla 3 se presenta las Políticas de Gobierno TI. Cuando se tienen las políticas de gobierno y gestión de TI construidas se consolidan en el Manual de Políticas Gobierno y Gestión de TI.

Los artefactos detallados en la Figura 3 han sido identificados y elaborados a lo largo de las fases de implementación del proyecto. Nos brinda una visión de alto nivel sobre qué es y cómo es la GTI. La Figura 3 muestra la alta interdependencia entre los artefactos, es decir, el cambio o mejora en alguno de ellos, afectará a los demás. Una buena Gobernanza corporativa de la organización facilita el buen gobierno TI.

GTI se basa en principios, en políticas y estándares. El modelo de gobernanza consta de un conjunto de procesos, artefactos e indicadores para el monitoreo. Todo lo anterior, esta condicionado por un conjunto de factores críticos que deben ser tomados en cuenta.

Item	Normativas Internas del Área de TI
Manual	Organización y Funciones.
	Sistema de Gestión del Servicio de TI
Directivas	Lineamientos de Seguridad.
	Aspectos relacionados con Criptografía.
	Gestión de Requerimientos de Software.
	Acceso de los Sistemas de Información.
	Normas y Procedimientos para realizar Backup.
	Sobre el Plan Operativo Informático.
	Administración de Equipos y Periféricos.
	Administración de Software.
	Ciclo de Vida del Software.
	Sobre el Plan Estratégico de TI.
	Sobre los manuales de usuario.
Circulares	Alta y Baja de Aplicaciones Informáticas.
	Requerimientos de Instalación de Puntos de Red y Redes de Datos.
	Procedimientos Internos Técnicos - Operativos.

Tabla 2 – Normativas Internas del área de TI

Políticas	Políticas
Políticas de Gestión del Marco de Gestión de TI.	Políticas de la Gestión de Proyectos de TI.
Políticas de la Gestión de la Estrategia de TI.	Políticas de la Gestión de la Demanda.
Políticas de la Gestión de la Innovación.	Políticas de la Gestión de la Construcción de Soluciones.
Políticas de la Gestión del Portafolio de TI.	Políticas de la Gestión de Cambios.
Políticas de la Gestión del Presupuesto de TI.	Políticas de la Gestión los Activos de TI.
Políticas de la Gestión de los Recursos Humanos de TI.	Políticas de la Gestión de las Operaciones.
Políticas de la Gestión de las Relaciones.	Políticas de la Gestión de Servicios.
Políticas de la Gestión de los Proveedores.	Políticas de la Gestión de Problemas.
Políticas de la Gestión de Riesgos de TI. Política de la Gestión de Seguridad Informática.	Políticas de la Gestión de la Continuidad.

Tabla 3 – Políticas de Gobierno TI

4.2. Principios de Gobierno de TI en la Entidad Financiera

En la elaboración de los principios de GTI se han tomado en cuenta la NTP-ISO/IEC 38500 sobre Gobernanza Corporativa de TI. A continuación, una descripción breve para cada principio:

Figura 3 – Artefactos del Gobierno de TI

- Principio 1 Responsabilidad: El personal competente acorde a su cargo y perfil, entienden y aceptan sus responsabilidades y funciones basados en el Manual de Organización y Funciones del área de TI.
- Principio 2 Estrategia: Las capacidades actuales y futuras de TI toman en cuenta las estrategias de negocio definidas en el Plan Estratégico.
- Principio 3 Adquisición: Las adquisiciones de TI son identificadas y realizadas acorde con las estrategias y necesidades del negocio, considerando los beneficios, oportunidades, costos y riesgos que involucran.
- Principio 4 Desempeño: El desempeño de TI está enfocado a resultados de alto impacto para el negocio, al generar un valor sostenible a medida que la Entidad Financiera crece y se consolida.
- Principio 5 Conformidad: Se han definido, implementado y asegurado las políticas y prácticas de TI, así como asegurado el cumplimiento normativo del área de TI.
- Principio 6 Comportamiento Humano: Las políticas, prácticas y decisiones de TI demuestran respeto por el comportamiento humano, incluyendo las necesidades actuales y cambiantes de todas las personas en el proceso.

4.3. Políticas y Estándares

En la construcción de las políticas y estándares para el GTI y la Gestión de las TI, se han tomado en cuenta la norma técnica peruana NTP ISO/IEC 38500 y los procesos del marco de referencia asumido. El proceso que se siguió para construir las politicas fue (1) revisar los procesos de GTI de COBIT relacionados con la operatividad y funciones de la Gerencia de TI, (2) identificar las prácticas clave, (3) revisar las actividades clave y (4) redactar las políticas. Las políticas fueron revisadas por una empresa consultora y de investigación de TI. Se obtuvo el visto bueno de parte de la consultora a las políticas. Finalmente, las políticas GTI fueron aprobadas. En la Figura 4 se presentan los procesos y las prácticas claves de GTI que se han asumido para el dominio de gobierno (El eje X representa el total de prácticas y el eje Y representa los procesos del dominio Evaluar, Orientar y Supervisar - EDM).

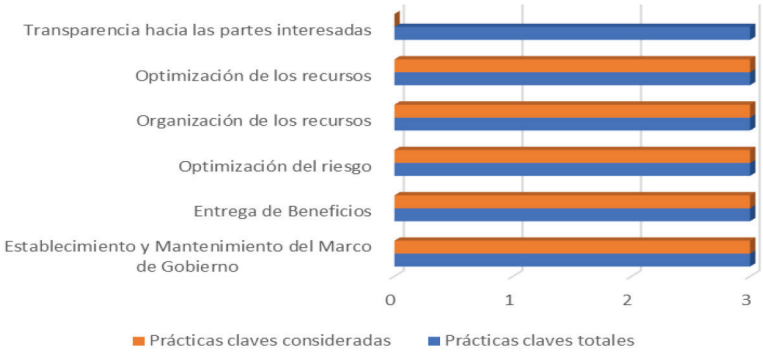


Figura 4 – Prácticas Claves Consideradas vs. Prácticas Clave Totales - EDM

Se logró incorporar las prácticas (seguridad, riesgo, calidad, acuerdos de nivel de servicios, relaciones, recursos humanos, presupuesto y costes, portafolio, innovación, arquitectura empresarial, estrategia y marco de gestión TI), menos la relacionada con la transparencia hacia las partes interesadas debido a que no se refleja en la operatividad y la funcionalidad de la Gerencia de TI. En la Figura 5 se presenta las prácticas Claves Consideradas vs. Prácticas Clave Totales – DSS (el eje X representa el total de prácticas y el eje Y representa los procesos del dominio Entregar, dar Servicio y Soporte- DSS).

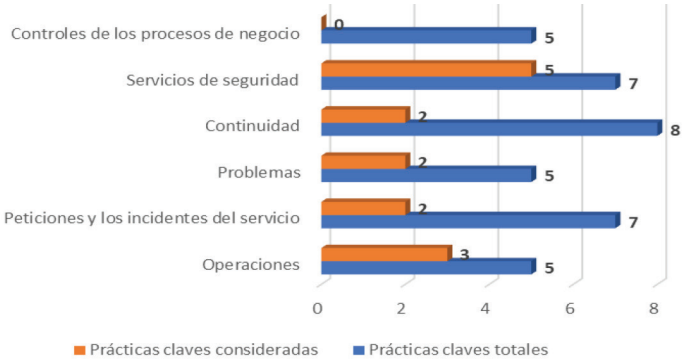


Figura 5 –Prácticas Claves consideradas vs Prácticas Claves totales -DSS

En cuanto a las Prácticas Claves Consideradas del dominio MEA (Supervisar, Evaluar y Valorar) se incorporaron las relacionadas a la conformidad con los requerimientos externos, con el sistema de control interno y rendimiento y conformidad. Los procesos no considerados en cada uno de los controles del marco de trabajo se tomarán de acuerdo con la necesidad futura de las TI en la entidad. En materia de gobierno de TI, el 80% de los procesos que plantea el marco de trabajo utilizado ha sido implementado, dejando un 20% por implementar en un futuro, siguiendo el ciclo de vida de mejora continua. Asimismo, para la gestión de TI se tiene otro panorama, habiéndose implementado un 35% de los procesos que estipula el marco de trabajo, dejando un 65% por implementarse en futuras actualizaciones y mejoras de la gestión de TI. Si bien existe una gran diferencia

entre la implementación de los procesos de Gobierno y Gestión de TI, esto es debido a la reorganización del área de TI.

4.4. Indicadores para los Procesos de Gobierno y Gestión de TI

Los indicadores son el paso final de la implementación de Gobernanza de TI en la Entidad Financiera, una vez definido el Macroproceso de Gobierno y Gestión de TI, se establecieron las responsabilidades de cada unidad orgánica de TI para cada proceso estipulado en el modelo. Asimismo, cada responsabilidad ha sido validada por las jefaturas de las unidades orgánicas (U. O.) de TI.

Macroproceso de Gobierno y Gestión de TIC		**Área Responsable**	**Total Indicadores**
Proceso	**Subproceso**		
Gobierno de Tecnologías de Información	Asegurar el Establecimiento y Mantenimiento del Marco de Gobierno	Área de gobierno TI	2
	Asegurar la Entrega de Valor		
	Asegurar la Optimización de Recursos		
	Asegurar la Optimización de Riesgos		
Gestionar la Estructura de la Gestión de TI	Gestionar el Marco de Gestión de TI		2
	Gestionar la Estrategia de TI		
	Gestionar la Arquitectura Empresarial		
	Gestionar el Presupuesto de TI		
	Gestionar Recursos Humanos de TI		
	Gestionar Riesgos de TI	Área de TI	
	Gestionar Proveedores		
	Gestionar la Investigación Tecnológica	Área de Arquitectura TI	1
	Gestionar la Demanda	Área de gobierno TI	1
Gestionar el Portafolio y Proyectos TI	Gestionar el Portafolio de TI		2
	Gestionar Proyectos de TI		
	Gestionar la Construcción de Soluciones	Área de Aplicaciones	1
	Gestionar la Calidad para Productos Software y Hardware		1
Gestionar la Operatividad de TI	Gestionar las Operaciones	Área de Producción	2
	Gestionar la Disponibilidad y Capacidad		
	Gestionas las Peticiones e Incidentes de Servicio		
	Gestionar la Continuidad		
	Gestionar los Servicios de Seguridad Informática	Área de Seguridad	
	Gestionar la Infraestructura Tecnológica y Activos de TI	Área de producción	1
	Gestionar los Cambios	Cada área de TI	1

Tabla 4 – Responsabilidades de los procesos

Como se muestra en la Tabla 4, cada proceso se divide en subprocesos, que, a su vez, cada área específica de TI es responsable, siendo ellos los gestores de cada proceso asignado. En base a las responsabilidades establecidas, se desarrollaron indicadores de desempeño para cada uno de los procesos.

5. Conclusiones

La GTI es la capacidad organizacional de la Alta dirección, la gestión ejecutiva para controlar la formulación e implementación de la estrategia de TI, y de este modo garantizar la alineación del negocio y TI. Con tal propósito, diversos organismos especializados han desarrollado marcos de trabajo como COBIT 5 e NTP-ISO/IEC 38500 que incorporan procesos y buenas prácticas para el control de las actividades de TI para obtener un buen desempeño y apoyar la cadena de valor de los servicios de TI. La implementación de estas buenas prácticas estará condicionada por el nivel de madurez de las organizaciones y en otros casos justificadas por la legislación local. En este articulo se presenta una experiencia de implementación de los procesos y buenas prácticas para establecer formalmente políticas y estándares para el gobierno y gestión de Tecnologías de Información en una Entidad Financiera, enfocado al cumplimiento de los objetivos estratégicos del negocio, así como reflejando la necesidad actual de las TI. La redefinición de los procesos de TI a un alto y medio nivel refleja la operatividad y funcionalidad actual del área de TI. El macroproceso redefinido coadyuva al establecimiento de jerarquías en los procesos del área de TI, así como el aseguramiento del desempeño de estos. Es importante mencionar que dos factores críticos para la implementación han sido compromiso de la Alta Dirección y la participación de los profesionales de la organización.

Referencias

Abreu A., Vidal J., & Rocha A. (2018). New challenges of information systems in the current context of organizations, *RISTI*, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação* 30, 12 pp. ix-xi.

Al Qassimi, N., & Rusu, L. (2015). IT governance in a public organisation in a developing country: a case study of a governmental organisation. *Procedia Computer Science*, 64, 450–456.

Bayona S. & Ayala M. (2017). IT governance: progress and challenges on public administration. In *Proceedings of the 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, Lisbon, 2017, pp. 1-5.

Chong, J., & Duong, L. (2017). Understanding IT governance effectiveness in Asia: an event study. *Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems*, 9(1), 29–54.

Delgado, A. & Velthuis, M. (2015). Propuesta de marco de mejora continua de gobierno TI en entidades financieras. *RISTI*, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação* 15, 51-67.

INACAL (2016). *Norma Técnica Peruana NTP-ISO/IEC 38500:2016 - Tecnología de información. Gobernanza de TI para la organización*. Lima.

ISACA (2012). *COBIT 5 Implementación*. Rolling Meadows, IL, EE.UU.

ISACA, Capítulo de Panamá (2012). *Presentación de COBIT 5 - Introducción en Español*. Rolling Meadows, Illinois, Estados Unidos de América.

ISO/IEC (2008). *ISO 38500: 2008 ISO/IEC standard for corporate governance of information technology*. Ginebra.

Niyonsenga T., & Mwaulambo C. (2018). *IT governance practices. A multiple case study of Tanzanian public government organisations* [Internet]. Retrieved from http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1215949/FULLTEXT02.pdf.

Sibanda, M, & Solms, R. (2018). Devising a strategy for IT governance implementation in municipalities. A case study of South Africa. *E J Info Sys Dev Countries*, 85(2), 1-29.

Van Grembergen, W. & De Haes, S., (2018). Introduction to the minitrack on IT governance and its mechanisms . In *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Science*, (pp. 4877-4879). IEEE.

Weill P., & Ross J. (2004). *IT governance: how top performers manage IT decision rights for superior results*. Boston: Harvard Business School Press.

Wiedenhoft, C., Luciano, M., & Magnagnagno, A. (2017). Information technology governance in public organisations: identifying mechanisms that meet its goals while respecting principles. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 14(1), 69–87.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: xx/05/2019
Aceitação/Acceptance: xx/07/2019

Factores Críticos de Éxito en el Desarrollo de E-Gobierno: Revisión Sistemática de la Literatura

Vicente Morales[1,2], Sussy Bayona[1]

jose.morales1@unmsm.edu.pe, sbayonao@hotmail.com

[1] Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Germán Amézaga s/n, 15081, Lima, Perú.

[2] Universidad Técnica de Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages: 233–247

Resumen: Uno de los principales propósitos de los factores críticos de éxito (FCE) es reunir las necesidades de información para la toma de decisiones administrativas fundamentales. El objetivo de este estudio es realizar una revisión sistemática de la literatura para explorar e identificar los FCE que influyen en el desarrollo del e-gobierno y analizar sus características relevantes para alcanzar un proyecto de e-gobierno exitoso. La estrategia de búsqueda identificó 785 resultados de los cuales se seleccionaron 31 estudios primarios. La revisión sistemática permitió identificar 11 factores críticos de éxito y priorizar los más importantes para el desarrollo de e-gobierno. La importancia de los FCE se basa en la frecuencia con la que son identificados en los estudios considerados como primarios.

Palabras-clave: e-gobierno; factores de e-gobierno; factores críticos de éxito; categoría de factores.

Critical success factors in the development of e-government: a systematic review of the literature

Abstract: One of the main purposes of the critical success factors (CSF) is to gather the information needs for fundamental administrative decision making. The objective of this study is to conduct a systematic review of the literature to explore and identify the CSFs that influence the development of e-government and analyze its relevant characteristics to achieve a successful e-government project. The search strategy identified 785 results of which 31 primary studies were selected. The systematic review identified 11 critical success factors and prioritized the most important for the development of e-government. The importance of CSFs is based on the frequency with which they are identified in the studies considered as primary.

Keywords*:* e-government; factors of e-government; critical factors of success; category of factors.

1. Introducción

En la actualidad, la gente y las organizaciones utilizan el Internet como una herramienta de transacción en diferentes entornos como el comercio, compras, capacitación, negocios, etc. El internet es también usado para la difusión de la información, productos y servicios haciendo hincapié en el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para mejorar la eficiencia y el acceso a los servicios de gobierno (Alawneh, Al-Refai & Batiha, 2013).

El enfoque de los factores críticos de éxito (FCE) se desarrolló originalmente para ayudar a los gerentes a determinar sus necesidades de información, pero desde entonces se ha adaptado a una amplia variedad de contextos como la gestión de procesos de negocios, la adopción de la banca electrónica, las implementaciones de e-gobierno, etc. (Borman & Janssen, 2013).

Los FCE pertinentes a la Administración Pública aún no se han investigado y analizado a profundidad (Elkadi, 2013). A través de la revisión sistemática de la literatura en este trabajo, se propone identificar los FCE en el desarrollo de e-gobierno, basándose en resultados de investigaciones anteriores referente a factores que permitan el éxito del e-gobierno frente a los ciudadanos.

El resto del artículo está estructurado así: La Sección dos da una breve descripción de e-gobierno y sus factores críticos de éxito. En la Sección tres se describe la metodología de la revisión sistemática. En la Sección cuatro se reporta los resultados. En la Sección cinco se realiza la discusión de los resultados y trabajos futuros. Finalmente, las conclusiones son expuestas en la Sección seis.

2. Antecedentes

Los gobiernos vienen desarrollando aplicaciones de gobierno digital, como los portales web de Internet. Aunque existen muchos beneficios potenciales de estas aplicaciones para la administración pública en sus procesos internos, la mayoría de ellas fallan en el logro de sus objetivos y poco se sabe aún sobre los factores que determinan su éxito o fracaso (Luna-Reyes, García, & Gil-García, 2009).

Los sitios web oficiales de un gobierno que ofrecían información y servicios, aparecieron por primera vez en Internet a mediados de los años noventa, seguidos de la aparición del término e-gobierno (Sá, Rocha, Gonçalves, & Perez Cota, 2016). Una serie de temas de investigación relacionados especialmente con e-gobierno surgen a principios de este nuevo siglo (Wu & Guo, 2015). Los factores tecnológicos, factores organizativos y factores ambientales son los principales factores que influyen en la difusión del e-gobierno (Gil-Garcia & Pardo, 2005). La implementación exitosa de e-gobierno a través del uso de las TIC se ha convertido en una herramienta importante para aumentar la transparencia pública y la rendición de cuentas, que son los principales impulsores de la buena gobernanza en el sector público (Guillamón, Ríos, Gesuele, & Metallo, 2016).

La implementación de iniciativas de TIC en el e-gobierno no es un proceso sencillo de llevar a cabo. Uno de los problemas más importantes del e-gobierno es que la mayoría de

estas iniciativas fallan debido a que no terminan su ciclo de implementación o no se han generado los resultados esperados (Herrera, & Gil García, 2009). Estudios anteriores de e-gobierno han mostrado que el éxito de dichas iniciativas depende de una multiplicidad de factores para adopción, diseño, implementación, utilización y desarrollo (Gil-Garcia & Pardo, 2005; Moon, 2002).

2.1. Gobierno Electrónico

Existen muchas definiciones de e-gobierno en la literatura, donde el punto clave es que las TIC se han constituido en un facilitador de e-gobierno, proveyendo servicios electrónicos (e-servicios) a los ciudadanos. A través del e-gobierno no se trata sólo de que el gobierno informe a los ciudadanos, sino también que los ciudadanos sean capaces de comunicarse e interactuar más fácilmente con el gobierno (Müller & Skau, 2015). El uso de TIC en el sector público es conocido como e-gobierno y ha sido una estrategia de modernización y reforma administrativa del Estado (OECD, 2003). El e-gobierno se define de manera general como la entrega de servicios e información gubernamental por medios electrónicos a los ciudadanos (Gil-Garcia & Pardo, 2005; Herrera, & Gil García, 2009). El e-gobierno implica el uso de las TIC por parte del gobierno en la prestación de servicios públicos (Joseph, 2017).

2.2. Servicios electrónicos

En la década de los 90s, los gobiernos comenzaron a utilizar las TIC para proporcionar servicios al público. Desde entonces, aquellos e-servicios se han vuelto más ambiciosos, y el enfoque ha pasado de reducir la cantidad de papeleo al poner información en Internet con la posibilidad de que los ciudadanos interactúen electrónicamente con el gobierno (Müller & Skau, 2015). Los e-servicios se proveen a los ciudadanos por medio de las TIC, lo que implican cambios organizacionales internos, así como modificaciones a las relaciones interorganizacionales (Wu & Guo, 2015). Los gobiernos locales cada vez más proporcionan sus servicios en línea y el éxito de esta implementación se deriva de la satisfacción de quienes reciben el servicio (Osman et al., 2014; Sá et al., 2016).

2.3. Factores críticos de éxito en el e-gobierno

Los factores críticos de éxito (FCE) se pueden derivar a través de una revisión de publicaciones y un análisis de las metas y objetivos del personal clave de la administración. Las primeras referencias de “factores de éxito” fueron presentados por D. Ronald Daniel en 1961, refiriéndose a la “gestión por factores críticos”. Una mejor definición fue introducida por John F. Rockart en 1979 refiriéndose a los “FCE” como “los requerimientos de información sensible y vital que permite a los gerentes asegurar que las cosas marchan bien”. Los FCE se definen de varias maneras según el propósito para el que se utilizan (Mokone, 2018).

Uno de los primeros trabajos respecto a FCE fue realizado por Rockart (1979) y posteriormente desarrollado por Bullen and Rockart (1981). Respecto a este tema se dice: “Los FCE son las pocas áreas clave de la actividad en las que los resultados favorables son absolutamente necesarios para un gerente en particular para alcanzar

sus objetivos". Este concepto original rápidamente ganó aceptación y éxito entre los académicos y profesionales y se utilizó en una gran variedad de entornos (Borman & Janssen, 2013). Estos FCE no son pasos prácticos detallados para implementar un sistema, sino que son factores auxiliares que apoyan la implementación exitosa de los sistemas (Alreemy, Chang, Walters, & Wills, 2016).

Los FCE son un lado de la demanda que involucra a la Alta gerencia para establecer una visión clara, prioriza la capacidad funcional y gestiona las expectativas de las partes interesadas (Mokone, 2018). Al analizar los FCE es necesario tener en cuenta el efecto "opuesto" de la mayoría de los factores. Esto significa que, si la presencia de un factor fomenta el éxito, la falta de este estimula el fracaso (ejemplo, una infraestructura adecuada). Lo contrario, si la presencia de un factor causa el fracaso, su ausencia causará el éxito (ejemplo, la burocracia) (Gil-Garcia & Pardo, 2005; Altameem, Zairi, & Sarmad, 2006).

3. Metodología de revisión sistemática

Una revisión sistemática de la literatura (RSL) busca identificar, evaluar, comprender y apoyar todas las investigaciones relevantes disponibles para una pregunta de investigación, área temática o fenómeno de interés. Los estudios individuales que contribuyen a una RSL se denominan estudios primarios, en tanto que a una RSL se le considera como estudios secundarios (Selleri et al., 2015; Kitchenham & Charters, 2007; Bayona, Calvo-Manzano, & Feliu, 2012).

Este estudio se ha llevado a cabo como una RSL basada en las directrices propuestas por Kitchenham & Charters (2007) y Kitchenham et al. (2009). El protocolo utilizado para la revisión sistemática incluye los siguientes pasos: preguntas de investigación, selección de fuentes de datos, términos de búsqueda, y métodos usados para localizar y seleccionar los estudios (Kitchenham & Charters, 2007; Bayona et al., 2012).

3.1. Preguntas de investigación

El objetivo de la RSL es identificar estudios acerca de factores críticos de éxito en la implementación de e-gobierno para obtener una visión más detallada y completa sobre el tema (Vasconcellos et al., 2016). Esta revisión sistemática busca responder a las siguientes preguntas de investigación (RQ por sus siglas en inglés), basadas en las preguntas utilizadas en (Selleri et al., 2015).

RQ1. ¿Cuáles son los factores críticos de éxito para la implementación o desarrollo del e-gobierno?

RQ2. ¿Cuáles son las categorías y cómo se clasifican los factores críticos de éxito?

3.2. Selección de fuente de datos

La estrategia de búsqueda para encontrar los estudios incluyó búsquedas automáticas en bases de datos electrónicas y búsqueda manual en actas de congresos y revistas (Selleri

et al., 2015). Las búsquedas se realizaron en las siguientes bases de datos: IEEE Xplore, ISI Web of Science, Science Direct, Scopus, SpringerLink, EBSCO, Google Scholar.

El período de búsqueda comienza desde el año 2000, ya que a partir de este año se han desarrollado los estudios dirigidos a la implementación y desarrollo de e-gobierno, y también se han incrementado las investigaciones acerca de los factores que influyen en el éxito del e-gobierno (Das et al., 2016).

3.3. Términos y cadena de búsqueda

La revisión sistemática de la literatura, se escogió como un método de búsqueda, porque el estudio es más acerca de tratar de entender un problema, que de tratar de encontrar una solución. Para la búsqueda en bases de datos se utilizó palabras clave derivadas de las preguntas de investigación (Kitchenham & Charters, 2007). Ver en la Tabla 1 las palabras clave y sus sinónimos o palabras relacionadas.

Palabras clave	Sinónimos o palabras relacionadas
e-Government	Electronic government, e-government, eGovernment, digital government, e-Gov, eGov.
Implementation	Development, implementation, maturity.
*Critical success factor*s	Critical factors, critical success factors, success factors, determining factors, critical aspects, determining aspects, key success factors.

Tabla 1 – Términos de búsqueda.

La estrategia utilizada para construir la cadena de búsqueda (Selleri et al., 2015) se basó en los siguientes pasos: a) Derivar palabras clave de las preguntas de investigación; b) Identificar sinónimos o palabras relacionadas para las palabras clave; c) Agrupar sinónimos y palabras relacionadas con el identificador "OR"; y, d) Agrupar cada conjunto de términos con el identificador "AND".

Los pasos a) y b) se realizaron como se describe en la Tabla 1. Después de los pasos c) y d) se obtuvo la siguiente cadena de búsqueda:

("electronic government*" OR "e-government*" OR "eGovernment*" OR "digital government*" OR "e-Gov*" OR "eGov*") AND (development* OR implementation* OR maturity*) AND ("critical factors*" OR "critical success factors*" OR "success factors*" OR "determining factors" OR "critical aspects*" OR "determining aspects*" OR "key success factors*")

Los mecanismos de búsqueda de los motores de búsqueda son diferentes, por lo que ha sido necesario diseñar y usar diferentes cadenas de búsqueda para cada base de datos, manteniendo su equivalencia (Bayona et al., 2012).

3.4. Criterios para seleccionar un estudio

La revisión sistemática requiere de criterios de inclusión y exclusión explícitos para evaluar cada estudio primario potencial (ver Tabla 2).

Criterios de inclusión (I)	Criterios de exclusión (E)
Estudios referentes a implementación o desarrollo de e-gobierno con énfasis en entornos locales.	Estudios no centrados en factores críticos en la implementación o desarrollo de e-gobierno.
Estudios que muestren datos, informes o experiencias sobre factores críticos de éxito en e-gobierno.	Estudios basados meramente en la opinión de investigadores sin localizar una experiencia específica.
Documentos que contienen palabras clave que coinciden con los definidos en la cadena de búsqueda.	Prefacios, resúmenes de artículos, entrevistas, noticias, análisis, discusiones, comentarios, cartas de lectores y talleres.
Documentos cuyo título, palabras clave, resumen o contenido está relacionado con el tema.	
Estudios escritos en inglés y publicados a partir del año 2000.	

Tabla 2 – Definición de criterios de inclusión y exclusión

3.5. Procedimientos para seleccionar un estudio

La selección de un determinado estudio se realizó en cuatro etapas para obtener un conjunto de estudios primarios (Selleri et al., 2015; Kitchenham & Charters, 2007), y estas etapas se describen a continuación:

Etapa 1. Realización de la búsqueda automática y manual para identificar una lista preliminar de estudios. Los estudios duplicados fueron eliminados.

Etapa 2. Identificación de estudios potencialmente relevantes, basados en el análisis del título y resumen, descartando estudios que son claramente irrelevantes.

Etapa 3. Revisión de estudios seleccionados en las dos etapas anteriores leyendo la introducción, metodología y conclusión, aplicando los criterios de inclusión y exclusión. Si la lectura de estos ítems no es suficiente para tomar una decisión, el estudio debe ser leído en su totalidad.

Etapa 4. Obtención de una lista de estudios primarios.

3.6. Evaluación de calidad

Para evaluar la calidad de los estudios, se utilizó una lista de control de calidad como instrumento de evaluación de la calidad (Bayona et al., 2012). Esta lista de control de calidad contiene las siguientes preguntas:

- SQA1: ¿El estudio primario es relevante para la investigación que realiza el investigador?

  Para evaluar la calidad de los artículos con respeto a su capacidad e idoneidad para responder a las preguntas de investigación, se asume que son confiables y tienen la calidad suficiente para contribuir a esta revisión sistemática.

- SQA2: ¿Los estudios proporcionan la información suficiente para proporcionar la información necesaria para responder las preguntas de la revisión sistemática?

El objetivo principal de evaluación de la calidad de los estudios es evaluar el impacto de la calidad de los estudios primarios sobre las conclusiones.

- SQA3: ¿Se definieron los factores críticos de éxito de las iniciativas?

  Los factores críticos de éxito están claramente identificados y definidos.

3.7. Extracción de datos

Toda la información relevante se registró en una hoja electrónica, la cual fue muy útil al resumir los datos. Los siguientes datos se extrajeron de la descripción de los estudios: referencias, tipo de artículo (revista, conferencia), país donde se realizó el estudio, propósito del estudio; también se extrajeron datos de los resultados de estudio: tipo de diseño del estudio (empírico, informe de experiencia, teórico), método de investigación (estudio de caso, experimento, investigación de acción, encuesta), metodología del análisis (cualitativa, cuantitativa), recopilación de datos, categorías o dimensiones, factores, resultados y conclusiones, y trabajos futuros.

3.8.Síntesis de datos

Esta síntesis tuvo como propósito agrupar los hallazgos de los estudios con el fin de identificar los principales conceptos, realizar un análisis comparativo de las características del estudio utilizando datos demográficos, tipo de metodología y FCE, y buscar respuestas a las preguntas de investigación (Selleri et al., 2015).

3.9. Realización de la revisión

La revisión sistemática se inició con una búsqueda automática, seguida de una búsqueda manual, durante la cual se identificaron estudios potencialmente relevantes y se aplicaron los criterios de inclusión / exclusión. La búsqueda automática y la búsqueda manual dieron como resultados: un total de 785 estudios, 768 de la búsqueda automatizada más 17 de la búsqueda manual (ver Tabla 3).

Los artículos no relacionados con el tema de investigación y redundantes fueron eliminados, obteniéndose 31 resultados como estudios primarios.

Base de datos	Resultado (automática)	Resultado (manual)	Total
IEEE	133		
ISI Web of Science	31		
Science Direct	160		
Scopus	272		
SpringerLink	74		
EBSCO	98		
Google Scholar		11	
Otros		6	
Total	768	17	785

Tabla 3 – Resultados de la búsqueda automática y manual

4. Resultados de la revisión sistemática

Esta sección presenta los resultados de la revisión sistemática acerca de los factores en el desarrollo de e-gobierno y proporciona las respuestas a las preguntas de la investigación. La búsqueda automática y la búsqueda manual permitieron identificar como resultados un total de 785 estudios referentes al tema de investigación, 768 de la búsqueda automatizada más 17 de la búsqueda manual. Finalmente se obtuvo 31 resultados como estudios primarios (ver Tabla 4).

Los estudios considerados como primarios permitieron identificar los factores en el desarrollo de e-gobierno, y también las categorías en las que están agrupados dichos factores.

Fuentes	Estudios potencialmente elegibles	Estudios seleccionados como primarios
IEEE Xplore DL	133	5
ISI Web of Science	31	5
Science Direct	160	4
Scopus	272	4
SpringerLink	74	1
EBSCOhost	98	2
Google Scholar	11	9
Otros	6	1
Total	785	31

Tabla 4 – Número de estudios potencialmente elegibles y estudios seleccionados

4.1. Estudios primarios

Los estudios considerados como primarios y que permitieron identificar a los factores en el desarrollo del e-gobierno se puede ver en la Tabla 5.

Id	Título	Referencia
S1	Risk Assessment & Success Factors for e-Government in a UK Establishment	(Evangelidis et al., 2002)
S2	E-government success factors: Mapping practical tools to theoretical foundations	(Gil-Garcia and Pardo, 2005)
S3	Critical Success Factors of E-Government: A Proposed Model for E-Government Implementation	(Altameem et al., 2006)
S4	Factors Affecting e-Government Assimilation in Developing Countries	(Pudjianto and Hangjung, 2010)
S5	Critical Success Factors of e-Government: A proposal model for e-Government implementation in Kingdom of Bahrain	(Al-kaabi, 2010)
S6	The successful implementation of e-government transformation: a case study in Oman	(Al-Azri et al., 2010)

Id	Título	Referencia
S7	E-Government implementation Challenges: A Case study	(EL-Haddadeh et al., 2010)
S8	Determining Factors of E-government Development: A Worldwide National Approach	(Rodríguez et al., 2011)
S9	Determining Success Factors of eGovernment Implementation in Yemen: An Analytical Hierarchy Process Approach	(Alsebaeai et al., 2012)
S10	The critical success factors for e-government implementation in Jordan	(Al-naimat, 2013)
S11	Determining factors of e-government implementation: a multi-criteria decision–making approach	(Rahman et al., 2014)
S12	The critical factors affecting E-Government adoption: A Conceptual Framework in Vietnam	(Khanh, 2014)
S13	Success factors influencing implementation of e-government at different stages of maturity: a literature review	(Müller and Skau, 2015)
S14	The Critical Success Factors Model for e-Government Implementation in Indonesia	(Fajar and Amalia, 2017)

Tabla 5 – Estudios primarios para la identificación de factores

4.2. Factores de e-gobierno

Los estudios primarios y los factores en el desarrollo de e-gobierno fueron determinados en base a la metodología utilizada por Selleri et al. (2015) y Kitchenham & Charters (2007). Las ponderaciones consideradas por Rahman et al. (2014) identifican el grado de importancia de cada categoría de factores y de cada factor como un porcentaje de la importancia total de todas las medidas en la implementación del e-gobierno.

Por lo tanto, para los factores que forman parte de varios estudios de desarrollo de e-gobierno y que tienen una frecuencia similar de referencias en los estudios seleccionados como por ejemplo: liderazgo (en 8 estudios), marco legal o regulatorio (en 8 estudios) y financiero (en 8 estudios), y con el fin de clasificarlos como factores más significativos entre unos y otros, se tomó en cuenta la ponderación de cada factor con respecto al objetivo de desarrollo de e-gobierno (Rahman et al., 2014). El ranking de los factores más representativos se presenta en la Tabla 6.

R*	Factores de e-gobierno	F **	Referencias
1	Liderazgo	8	(Altameem et al., 2006); (Al-kaabi, 2010); (Alsebaeai et al., 2012); (Rahman et al., 2014); (Al-Azri et al., 2010); (Fajar and Amalia, 2017); (Khanh, 2014); (EL-Haddadeh et al., 2010)
2	Marco legal (Regulatorio)	8	(Evangelidis et al., 2002); (Altameem et al., 2006); (Gil-Garcia and Pardo, 2005); (Al-naimat, 2013); (Alsebaeai et al., 2012); (Rahman et al., 2014); (EL-Haddadeh et al., 2010); (Pudjianto and Hangjung, 2010)
3	Financiero	8	(Evangelidis et al., 2002); (Altameem et al., 2006); (Müller and Skau, 2015); (Al-naimat, 2013); (Rahman et al., 2014); (Rodríguez et al., 2011); (Khanh, 2014); (EL-Haddadeh et al., 2010)

R*	Factores de e-gobierno	F **	Referencias
4	Seguridad	8	(Evangelidis et al., 2002); (Altameem et al., 2006); (Müller and Skau, 2015); (Alsebaeai et al., 2012); (Rahman et al., 2014); (Al-Azri et al., 2010); (EL-Haddadeh et al., 2010)
5	Apoyo de la alta gerencia	7	(Altameem et al., 2006); (Al-naimat, 2013); (Alsebaeai et al., 2012); (Al-Azri et al., 2010); (Khanh, 2014); (EL-Haddadeh et al., 2010); (Pudjianto and Hangjung, 2010)
6	Conciencia	7	(Altameem et al., 2006); (Al-naimat, 2013); (Al-kaabi, 2010); (Rahman et al., 2014); (Al-Azri et al., 2010); (Khanh, 2014); (EL-Haddadeh et al., 2010)
7	Infraestructura TIC	7	(Altameem et al., 2006); (Müller and Skau, 2015); (Al-naimat, 2013); (Alsebaeai et al., 2012); (Fajar and Amalia, 2017); (Khanh, 2014); (Pudjianto and Hangjung, 2010)
8	Cultura	7	(Evangelidis et al., 2002); (Altameem et al., 2006); (Müller and Skau, 2015); (Alsebaeai et al., 2012); (Al-Azri et al., 2010); (EL-Haddadeh et al., 2010)
9	Estrategia	6	(Altameem et al., 2006); (Müller and Skau, 2015); (Al-naimat, 2013); (Al-kaabi, 2010); (Alsebaeai et al., 2012); (EL-Haddadeh et al., 2010)
10	Capacitación a clientes	6	(Evangelidis et al., 2002); (Müller and Skau, 2015); (Al-naimat, 2013); (Al-Azri et al., 2010); (Khanh, 2014); (EL-Haddadeh et al., 2010)
11	Estructura organizacional	5	(Altameem et al., 2006); (Müller and Skau, 2015); (Alsebaeai et al., 2012); (Rahman et al., 2014); (Khanh, 2014);
12	Capacitación de empleados	5	(Evangelidis et al., 2002); (Altameem et al., 2006); (Müller and Skau, 2015); (Alsebaeai et al., 2012); (EL-Haddadeh et al., 2010)
13	Resistencia al cambio	5	(Evangelidis et al., 2002); (Müller and Skau, 2015); (Gil-Garcia and Pardo, 2005); (Al-naimat, 2013); (EL-Haddadeh et al., 2010)
14	Visión	5	(Altameem et al., 2006); (Al-naimat, 2013); (Al-kaabi, 2010); (Al-Azri et al., 2010); (Khanh, 2014)
15	Estándares de TI	5	(Altameem et al., 2006); (Al-kaabi, 2010); (Fajar and Amalia, 2017); (Khanh, 2014); (EL-Haddadeh et al., 2010)

R - Ranking; F** - Frecuencia de veces que aparece en la revisión de la literatura*

Tabla 6 – Ranking de factores más relevantes obtenidos de la revisión de la literatura

4.3. Modelo conceptual de FCE en el desarrollo de e-gobierno

La literatura y el análisis teórico describe y categoriza los factores que influyen en el e-gobierno en los contextos tecnológicos, organizacionales, factor personas, institucionales y legales (Figura 1). Estos temas pueden ser sintetizados en un modelo conceptual como factores clave que deben considerarse desde la perspectiva gubernamental para el desarrollo de e-gobierno (El-haddadeh et al., 2010).

A medida que los líderes políticos son los actores clave en la toma de decisiones en la implementación del e-gobierno, el liderazgo se convierte en un factor crítico (Rodríguez et al., 2011). Si bien el compromiso político es el hito de cualquier cambio, el liderazgo administrativo con un proceso de gestión eficaz es crucial (Rahman et al., 2014). El nivel de compromiso político junto con el tamaño y la estructura del gobierno han

sido identificados como los principales factores institucionales en la implementación del e-gobierno (Rahman et al., 2014; Rodríguez et al., 2011). Según la OECD (2003), el elemento más importante para una reforma exitosa es la fortaleza y consistencia del apoyo del nivel político más alto. Para que cualquier reforma pueda materializarse, el compromiso político se considera el criterio de éxito más importante, especialmente en el contexto de las naciones en desarrollo (Rahman et al., 2014; Ndou, 2004). Por lo tanto, por su gran significancia el compromiso político y el liderazgo serán considerados para este estudio como parte de la categoría de factores institucionales.

El factor socio-económico en este estudio es considerado como parte del factor financiero o económico por sus características similares. Varios autores como (Altameem et al., 2006; Müller & Skau, 2015; Al-naimat, Abdullah & Ahmad, 2013; Al-kaabi, 2010) consideran a los factores visión y estrategia como un factor conjunto, ya que indican que los gobiernos deben tener una buena visión y estrategia antes del inicio de los proyectos de e-gobierno para asegurarse que tendrán éxito.

Finalmente, sobre la base de la discusión anterior se propone un modelo conceptual a través del cual, se presenta los once FCE más relevantes, anclados a sus respectivas categorías, y que serán la base para explorar empíricamente la implementación de e-servicios y el desarrollo del e-gobierno en las municipalidades de países en desarrollo. El modelo conceptual muestra los once FCE más significantes e importantes para la

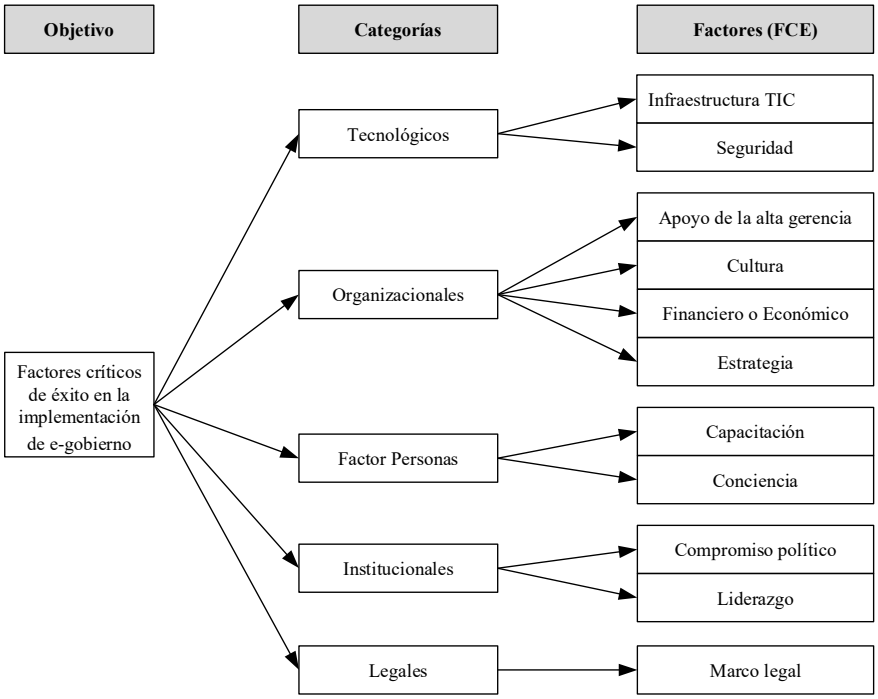


Figura 1 – Modelo conceptual propuesto de FCE en el desarrollo de e-gobierno

implementación de e-servicios y el desarrollo de e-gobierno, y las cinco categorías más relevantes que abarca a dichos factores (ver Figura 1).

5. Discusión y trabajos futuros

Una vez que la organización ha definido los FCE de su gestión puede definir con mayor claridad cuáles van a ser los indicadores que señalan que efectivamente estos factores están controlados. Estos factores claves deberían ser parte de los objetivos estratégicos de la organización, pues una vez que se tenga el control sobre los mismos y se alcancen niveles satisfactorios, toda la organización en su conjunto habría alcanzado el éxito esperado. La clave del éxito para la alta gerencia es enfocar su recurso más limitado (tiempo) en aquellos aspectos que realmente marcan la diferencia entre el éxito y el fracaso. Al discutir sobre la influencia de los factores de éxito o fracaso en el e-gobierno es necesario aclarar el efecto opuesto de la mayoría de los factores. Esto significa que, si la presencia de un factor fomenta el éxito, la falta de este estimula el fracaso (infraestructura adecuada y personal bien motivado). Lo contrario es cierto, de modo que, si la presencia de un factor causa el fracaso, su ausencia causará el éxito (burocracia, mala gestión de proyectos y cambios).

Los beneficios de este estudio son un punto de partida para ampliar los estudios futuros relacionados con los FCE y su influencia en el desarrollo del e-gobierno municipal. Una investigación futura también debería estar orientada a que el modelo conceptual de factores críticos sea probado empíricamente en estudios posteriores en el e-gobierno local.

6. Conclusiones

Este estudio presenta los resultados de una revisión sistemática relacionada con los factores críticos de éxito (FCE) que influyen en el desarrollo del e-gobierno. En total, se identificaron 785 resultados, de los cuales luego del proceso de selección, 31 corresponden a estudios primarios. El modelo conceptual muestra también las 5 categorías de factores más relevantes y los 11 FCE de mayor significancia para la implementación de e-servicios y el desarrollo del e-gobierno. La importancia o relevancia de los FCE se basa en la frecuencia con la que se identificaron estos factores en los estudios primarios. El desarrollo de e-gobierno implica mucho más que la introducción de las TIC en los procesos gubernamentales, siendo un proceso integral que es afectado por factores críticos de diversa índole como el Apoyo de la alta gerencia, Liderazgo, Voluntad política, entre otros; y, no únicamente por la tecnología en sí misma. Los factores de gobierno influyen en las decisiones de las personas para adoptar iniciativas de e-gobierno como por ejemplo en la toma de decisiones de la Alta gerencia, además, pueden ayudar o limitar el esfuerzo del sector público para difundir las iniciativas de e-gobierno. El estudio proporciona una visión clara de la importancia de determinados factores en el desarrollo de e-gobierno. Se espera que los resultados sean utilizados por los responsables de la toma de decisiones y los desarrolladores de e-servicios en un intento por mejorar el acceso, el formato y la entrega de los servicios del e-gobierno. Es muy importante determinar de una manera consciente y explícita, cuáles son las variables estructurales básicas que más afectan al éxito o fracaso del e-gobierno en la consecución de estos objetivos.

Agradecimientos

El agradecimiento por el apoyo brindado en la investigación a la Universidad Técnica de Ambato, DIDE y Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Referencias

Alawneh A., Al-Refai H. & Batiha K. (2013). Measuring user satisfaction from e-Government services: Lessons from Jordan. *Government Information Quarterly*, vol. 30, pp. 277–288.

Al-azri, A., Al-salti, Z., & Al-karaghouli, W. (2010). E-government transformation: a case study in. EMCIS'2010, 2010, 1–11.

Al-kaabi, Reem. (2010). Critical Success Factors of e-Government: A proposal model for e-Government implementation in Kingdom of Bahrain. *6th International Conference on e-Government*. Academic Publishing Limited

Al-naimat, A. M., Abdullah, M. S., & Ahmad, M. K. (2013). The critical success factors for e-government implementation in Jordan. ICOCI 2013, 391–398.

Alreemy, Z., Chang, V., Walters, V., & Wills, G. (2016). Critical success factors (CSFs) for information technology governance (ITG). *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 36, no. 6, pp. 907–916.

Alsebaeai, M.A., Jo, M., & Lee, J. (2009). Determining Success Factors of eGovernment Implementation in Yemen: An Analytical Hierarchy Process Approach. *European Conference on E-Government*, 815–824.

Altameem, T., Zairi, M., & Alshawi, S. (2006). Critical success factors of e-government: A proposed model for e-government implementation. *Proceedings of the IEEE Innovations in Information Technology Conference (IIT 2006)*, 19–21 November, Dubai, UAE.

Bayona, S., Calvo-Manzano, J.A., & Feliu, T.S. (2012). Critical success factors in software process improvement: a systematic review. In: Software Process Improvement and Capability Determination: *12th International Conference, SPICE 2012*, Proceedings, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1–12.

Borman, M. & Janssen, M. (2013). Reconciling two approaches to critical success factors: The case of shared services in the public sector. *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 33, pp. 390–400.

Bullen, C. V., & Rockart, J. F. (1981). A primer on critical success factors. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology.

Das, A., Singh, H. & Joseph, D. (2016). A longitudinal study of e-government maturity. *Information & Management*.

El-haddadeh, R., AL-Shafi, S., Weerakkody, V., & Ali, M. (2010). E-Government implementation Challenges: A Case study. *Proceedings of the Sixteenth Americas Conference on Information Systems*.

Elkadi, H. (2013). Success and failure factors for e-government projects: A case from Egypt. *Egypt. Informatics J.*, vol. 14, no. 2, pp. 165–173.

Evangelidis, A., Akomode, J., Taleb-Bendiab, A., & Taylor, M. (2002). Risk assessment & success factors for e-Government in a UK establishment. In R. Traunmüller, & K. Lenk (Eds.), EGOV 2002 (pp. 395–402) (LNCS 2456).

Fajar, S., & Amalia, A. (2017). The Critical Success Factors Model for e-Government Implementation in Indonesia. CoICT'2017.

Gil-Garcia, J., Pardo, T. (2005). E-government success factors: Mapping practical tools to theoretical foundations. *Gov. Inform. Quart.*, 22 (2), 187–216.

Guillamón, M., Ríos, A., Gesuele, B. & Metallo, C. (2016). Factors influencing social media use in local governments : The case of Italy and Spain. *Gov. Inf. Q.*, vol. 33, no. 3, pp. 460–471.

Herrera, L. & Gil García, J. R. (2009). Implementación de e-gobierno en México: Un análisis de los determinantes de éxito de la estrategia 'canales alternos de atención' del Infonavit. *Papeles Trab.*, vol. 240, p. 36.

Joseph, B. K. (2017). Determining Factors Influencing E-Government Development in the Developing World: A Case Study of Zambia. *Journal of e-Government Studies and Best Practices*, pg. 1-16. doi:10.5171/2017.143795

Khanh, N. (2014). The critical factors affecting E-Government adoption: A Conceptual Framework in Vietnam. *European Journal of Business and Social Sciences*, 2, 37-54. [175]

Kitchenham B., & Charters S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Technical Report EBSE 2007-001*, Keele University and Durham University Joint Report.

Kitchenham, B., Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51, 7–15.

Kurfalı, M., Arifoğlu, A., Tokdemir, G., & Paçin, Y. (2017). Adoption of e-government services in Turkey. *Comput. Human Behav.*, 66, 168–178.

Luna-Reyes, L. F., García, J. M. H., & Gil-García, J. R. (2009). Hacia un modelo de los determinantes de éxito de los portales de gobierno estatal en México. *Gest. y Polit. Publica*, 18 (2), 307–340.

Mokone, C.B., Eyitayo, O.T., & Masizana-Katongo, A. (2018). Critical Success Factors for e-Government Projects: The case of Botswana. *Journal of E-Government Studies and Best Practices*, 2018. https://doi.org/10.5171/2018.335906

Moon, M. (2002), The evolution of e-government among municipalities: rhetoric or reality?, *Public Administration Review*, 62 (4), 424–433.

Müller, S.D. & Skau, S.A. (2015). Success factors influencing implementation of e-government at different stages of maturity: a literature review. *Int. J. Electronic Governance*, 7 (2), 136–170.

Ndou, V. (2004). E-government for developing countries: opportunities and challenges. *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries*, 18(1), 1–24.

OECD (2003). *The e-Government Imperative, Organization for Economic Co-operation and Development*. Francia: OECD Press.

Osman, I., Latef, A., Irani, Z., Al-Ayoubi, B., Llee, H., Balci, A., ..., Weerakkody, V. (2014). COBRA framework to evaluate e-government services: A citizen-centric perspective. *Gov. Inf. Q.*, 31, 243–256.

Pudjianto, B. W., & Hangjung, Z. (2010). Factors affecting e-government assimilation in developing countries. *Ssrn*, 1–14. https://doi.org/10.2139/ssrn.1553651

Rahman, S., Rashid, N., Yadlapalli, A., & Yiqun, L. (2014). Determining factors of e-government implementation: A multi-criteria decision–making approach. In *PACIS 2014 Proceedings*, 302, http://aisel.aisnet.org/pacis2014/302

Rockart, J. F. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*, 81–93.

Rodríguez, L., García, I., & Gallego, I. (2011). Determining Factors of E-government Development: A Worldwide National Approach. *International Public Management Journal*, 14 (2), 218-248, DOI: 10.1080/10967494.2011.597152

Sá, F., Rocha, Á., Gonçalves, J., & Perez Cota, M. (2016). Model for the Quality of Local Government Online Services. *Telemat. Informatics*.

Selleri Silva, F., Soares, F. S. F., Peres, A. L., De Azevedo, I. M., Vasconcelos, A. P. L. F., Kamei, F. K., & Meira, S. R. D. L. (2015). Using CMMI together with agile software development: A systematic review. *Inf. Softw. Technol.*, 58, 20–43.

Vasconcellos, F. J. S., Landre, G. B., Cunha, J. A. O. G., Oliveira, J. L., Ferreira, R. A., & Vincenzi, A. M. R. (2016). Approaches to strategic alignment of software process improvement: A systematic literature review. *J. Syst. Softw.*, 691 (5), 1–18.

Wu, J., & Guo, D. (2015). Measuring E-government performance of provincial government website in China with slacks-based efficiency measurement. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 96, 25–31.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 22/06/2019
Aceitação/Acceptance: 29/09/2019

Dataset de Ransomware basado en análisis dinámico

Juan A. Herrera Silva[1], Freddy Daniel Bazante Veloz[1], Lorena Isabel Barona López[1], Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay[1], Myriam Hernández-Álvarez[1]

juan.herrera@epn.edu.ec, freddy.bazante@epn.edu.ec, lorena.barona@epn.edu.ec, angel.valdivieso@epn.edu.ec, myriam.hernandez@epn.edu.ec

[1] Departamento de Informática y Ciencias de la Computación (DICC), Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-25 y Andalucía, Edificio de Sistemas, 170525 Quito, Ecuador.

Pages: 248–261

Resumen: Los ataques Ransomware se han convertido en una seria amenaza a la seguridad de la información a nivel mundial, de tal manera que la comunidad científica realiza grandes esfuerzos para detectar y prevenir este tipo de ataques. Parte fundamental de este proceso es la recolección de información del ataque a través de herramientas como Cuckoo Sandbox. Actualmente, no existen bases de datos públicas con información de este tipo de ataques, o en su defecto, no se describen detalladamente. En este contexto, este trabajo propone la creación de un *dataset* público e indica los parámetros que han sido seleccionados. Se presenta un análisis estadístico de las características seleccionadas tales como comportamiento de red y uso de procesos del sistema víctima durante la fase de infección de un sistema (Windows XP y Windows 7). Finalmente, se procesa la información y se crea un *dataset* que asocia las cinco muestras de ransomware utilizadas (CryptoLocker, CryptoWall, PetrWrap, Petya y WannaCry).

Palabras-clave: Análisis, Claves de registro, Dataset, Procesos, Ransomware.

Ransomware Dataset based on dynamic analysis

***Abstract*:** Ransomware attacks have become a serious threat to the security of information worldwide, so that the scientific community makes great efforts to detect and prevent this type of attack. A fundamental part of this process is the collection of attack information through tools such as Cuckoo Sandbox. Currently, there are no public databases with information on this type of attack, or failing that, they are not described in detail. In this context, this work proposes the creation of a public Dataset and indicates the parameters that have been selected. A statistical analysis of the selected characteristics such as network behavior and use of processes of the victim system during the infection phase of a system (Windows XP and Windows 7) is presented. Finally, the information is processed, and a Dataset that associates the five samples of ransomware used (CryptoLocker, CryptoWall, **PetrWrap**, Petya and WannaCry) is created.

***Keywords**:* Analysis, Registry keys, Dataset, Processes, Ransomware.

1. Introducción

Debido a la cantidad de información sensible que se guarda tanto en dispositivos como en la nube y que a la vez se transfiere por medio de la red, la detección de malware, especialmente de ransomware, se ha convertido en un tema de investigación primordial en los últimos años (Muhammad, Ahmed, Olalere & Chiroma, 2019). En la actualidad el incremento masivo de ataques ransomware ha generado grandes pérdidas a diferentes instituciones ya que captura la información o bloquea los sistemas para después pedir grandes sumas de bitcoins a manera de rescate. Los ataques no se limitan solamente a personas particulares, ahora se dirigen también a grandes organizaciones (Zahra, 2017).

La tendencia actual del ransomware es presentarse como un servicio bajo demanda en el que se incluyen paquetes con exploits kits para vulnerar sistemas y perpetrar ataques dirigidos. Se entiende por ataque tipo ransomware al conjunto de etapas para infectar un sistema considerando que el mismo empieza con la distribución e infección del dispositivo involucrado, para luego su comunicación, búsqueda de archivos a infectar, cifrado de archivos y la solicitud de rescate. Por tanto, es de vital importancia definir un conjunto de parámetros que permitan a la comunidad científica la detección de este tipo de ataques.

En este contexto, en el trabajo relacionado con la conciencia situacional de ataques ransomware (Herrera, 2019) se identifican parámetros de detección y prevención de este tipo de ataque y se presenta una diversidad de herramientas de análisis de ransomware, entre ellas Anubis (Poriye,2016), VirusShare (Sgandurra, 2016), VirusTotal (Kharraz, 2016), Process Monitor (Kardile, 2017), Watchdog Module (Jung, 2018) y principalmente Cuckoo Sandbox (Poriye,2016; Cabaj, 2017; Kharraz, 2016; Kardile, 2017; Kolodenker, 2017; Takeuchi, 2018). De igual manera, en (Mohammad, 2019) se realiza un análisis de un conjunto de parámetros relacionados con ataques ransomware, siendo las métricas más utilizadas: región de convergencia (ROC) contra el cifrado de archivos, utilización de CPU, tasa de positivos verdaderos (TPR), tasa de falsos positivos (FPR), precisión y recuperación. Por otro lado, según el sistema RWGuard (Mehnaz, 2018) los parámetros que pueden influir en la detección de ransomware son: paquetes requeridos de entrada y salida, comportamiento y procesamiento de CPU.

Existen diferentes enfoques tanto a nivel de detección como de prevención de este tipo de ataques. Por un lado, dentro de las investigaciones a nivel de detección los principales parámetros que se toman en cuenta son claves de registro, actividades de entrada/salida de archivos de sistema, actividad de procesos, entropía, llamadas a funciones API (Chen, 2017), actividad de red, características de red (protocolo, direcciones IP fuente y destino, puertos, paquetes, duración). Por otro lado, aunque se indican los parámetros que se han tomado, no se explican los criterios para hacerlo.

Por su parte, Sgandurra (2016), presenta un *dataset* con los siguientes parámetros: llamadas API de Windows, operaciones de claves del registro, operaciones de archivos de sistema, conjunto de rendimiento de operaciones de archivos por extensión de archivo, operaciones de directorio, archivos eliminados y cadenas de caracteres. Sin embargo, este trabajo no ha sido utilizado por las siguientes razones: se indica una gran cantidad de muestras utilizadas que no se ven reflejadas en el *dataset*, falta de explicación de la descripción de los parámetros e identificadores, y no justifican el por

qué se han tomado los parámetros. En este contexto, los trabajos actuales proporcionan solamente una visión general de los parámetros utilizados en el proceso de detección de ataques ransomware. Sin embargo, no profundizan en la importancia de los mismos y tampoco se encuentran disponibles para el uso de la comunidad científica. En consecuencia, el presente trabajo tiene como objetivo principal la creación de un *dataset* que será compartido en un repositorio público y se proporciona una explicación de los parámetros que han sido seleccionados. Se realiza un análisis de resultados obtenidos a través de valoraciones estadísticas, de tal manera que se determina la importancia de los parámetros analizados. Además de ello, el presente artículo considera las principales características utilizadas y analizadas en los trabajos a nivel de detección y prevención de ransomware, de tal manera que las principales contribuciones de este artículo se listan a continuación:

- Presentación y análisis de los principales parámetros considerados en la literatura actual para conformar el *dataset*.
- Creación y compartición pública del *dataset*.
- Análisis de parámetros funcionales.

El presente trabajo consta de 5 secciones, siendo la primera de ellas la presente introducción. En la Sección 2 se describen los parámetros involucrados en la creación del *dataset* basándose de los reportes generados por Cuckoo, considerando un total de 100 análisis. En la Sección 3 se presenta el escenario de pruebas donde se han ejecutado los análisis. Adicionalmente, se realiza el filtrado y el análisis de los parámetros obtenidos provenientes del ataque realizado a dos sistemas operativos diferentes, Windows XP y Windows 7. Con dicha información se crea un *dataset* de características ransomware. En la sección 4 se describen los resultados del análisis estadístico y el *dataset* generado para que pueda ser utilizado en futuros trabajos. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones del artículo.

2. Análisis de Parámetros del *Dataset*

En esta sección se describe de manera breve las variantes de ransomware que existen y las etapas de este tipo de ataques. Además, se realiza la descripción de los parámetros considerados para la construcción del *dataset*, tomando como punto de partida las diferentes características analizadas en la literatura actual.

2.1. Historia del Ransomware

Es necesario hacer una línea temporal del ransomware y explicar de forma breve las muestras a usarse para la creación del *dataset*, como se observa en la Figura 1 (1989 hasta 2019). En el año 2019 el ransomware más representativo es GrandCrab, y lo que resulta aún más impactante es que sus desarrolladores luego de recaudar una millonaria suma de dinero de las víctimas (2.5 billones de dólares), dejarán de operar, (Eset, 2019). En él último año han aparecido nuevos ransomware tal como MATRIX (febrero 2019), el cual realiza un ataque de fuerza bruta contra las contraseñas de Windows y que pide cantidades de dinero que llegan a los 2500 euros en Bitcoins. Otro ejemplo es el ransomware Robbin Hood que tuvo una gran afectación a redes de Baltimore (abril 2019).

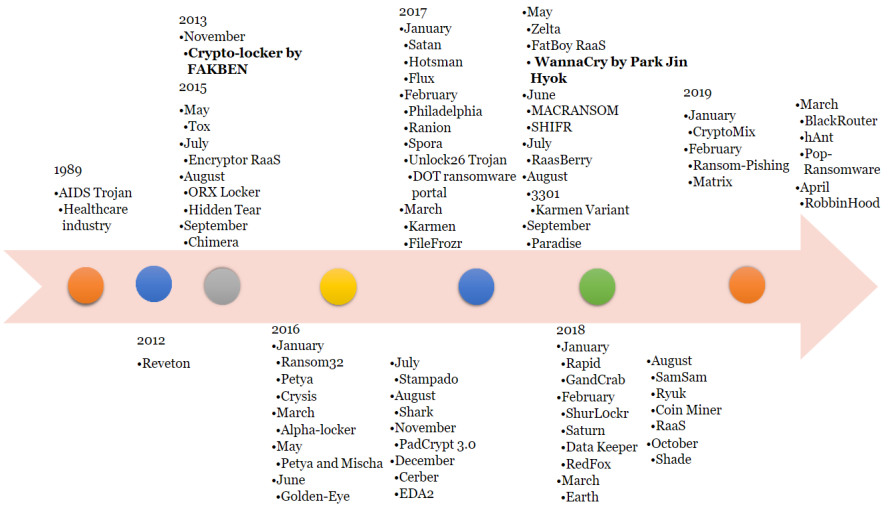


Figura 1 – Línea del tiempo de la evolución del Ransomware.

Las muestras de ransomware a usarse en la generación del *dataset* son: i) Cryptolocker: ransomware encriptador que cifra sólo ciertos archivos del dispositivo infectado; ii) CryptoWall: ransomware (bloqueador de sistemas) que se infiltra en el sistema operativo del usuario a través de un mensaje de email infectado o una descarga fraudulenta; iii) Petya: sobrescribe el registro de arranque principal del computador infectado; iv) PetrWrap, variante de Petya que toma en cuenta el exploit Eternal Blue de WannaCry para poder propagarse a través de la compartición del protocolo SMB; y v) WannaCry, aprovecha la vulnerabilidad del protocolo SMB de compartición de dispositivos.

2.2. Etapas de un ataque Ransomware

Cuando se lleva a cabo un ataque ransomware se llevan a cabo las siguientes acciones: contagio, propagación, acción y advertencia; tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2 – Ciclo de un ataque de Ransomware

Para el caso del ransomware encriptador, se considera las siguientes fases: distribución, infección, comunicación, búsqueda de archivos, cifrado, bloqueo y solicitud de rescate. Por su parte, para un ransomware bloqueador solamente se bloquea el acceso en el computador (Sotelo, 2018).

2.3. Metodología

Se implementa un ambiente de pruebas controlado y un análisis de muestras de ransomware a través del filtrado de sus atributos, de tal manera que con la información recolectada se construye el *dataset*. La experimentación que se pueda realizar con el *dataset* permitirá la detección oportuna de ese tipo de ataques. Adicionalmente, se recopila las muestras del ransomware como también información acerca de sus atributos y comportamiento.

El *dataset* consta de 10 columnas, las cuales representan los identificadores de objetos y características tomadas en cuenta en el proceso de análisis, extracción de información y filtrado de la misma. La Tabla 1 describe los objetos, tomados del archivo report.json

Objeto	Descripción	Característica	Explicación	Observación
PROCMEMORY	Permite la creación de volcados de memoria para cada proceso analizado (antes de que finalicen o antes de que finalice el análisis).	file	Archivo creado como volcado de memoria	Característica elegida debido a que el archivo se ejecuta en la memoria
		urls	Urls generadas durante la ejecución de procesos de memoria	Característica elegida debido a que almacena en memoria un listado de urls que se pueden filtrar a listas negras
		pid	Identificador del proceso	Característica escogida debido a que identifica al archivo generado (File)
NETWORK	Incluye información sobre la infraestructura de red utilizada durante los análisis.	hosts	hosts involucrados en el análisis. Ayuda a crear listas negras	Característica elegida debido a la comunicación que existe con host maliciosos. Se puede crear listas negras
		dns	Servidores DNS involucrados en el análisis	Característica elegida debido a la comunicación con servidores de dominio externos. Subcaracterística DNS (request)
BEHAVIOR	Permite ver el comportamiento del ransomware, es decir, ver los procesos que el ransomware realiza, bibliotecas a las que hace llamadas, claves de registro que afecta	Processes	Procesos ejecutados por el artefacto	Característica elegida debido a que los procesos modifican al sistema infectado. Elegido subcaracterísticas Processes (ppid, pid y process_name)
		Summary	Resumen acerca de archivos, claves de registro, directorios y comandos involucrados durante la ejecución de procesos	Característica elegida debido a que en ella se encuentran parámetros que afectan a los sistemas infectados. Se ha elegido la subcaracterística Summary (regKeys)

Tabla 1 – Descripción de características de los objetos procmemory, network y behavior

dado por Cuckoo Sandbox, así como la descripción e importancia de cada parámetro. Se debe aclarar que el archivo ".json" consta de 15 objetos y en cada objeto existen características que a su vez contienen otras anidaciones. Los objetos analizados son tres: procmemory, network y behavior, de los cuales se explican sus características.

Las características "dns" del objeto "network" contienen subccaracterísticas y de estas se ha tomado en cuenta "request", la cual permite ver nombres de dominios con los que se realizan peticiones durante la infección de un sistema. Para el caso del objeto "behavior" las características "processes" y "summary" contienen también subccaracterísticas. De "processes" se toma en cuenta "pid" (representa el identificador del proceso), "process_name" (representa el nombre del proceso) y "ppid" (representa el identificador del proceso padre). Para el caso de la característica "summary" se considera "regkey_opened" (claves de registro abiertas), "regkey_read" (claves de registro leídas) y "regkey_written" (claves de registro escritas).

El *dataset* se forma de un conjunto de identificadores, los cuales se describen en la tabla 2. Cada identificador puede a su vez identificar una característica o un conjunto de características de los parámetros previamente seleccionados. Se debe aclarar que la relación existente en el *dataset* se considera entre el artefacto (muestra de ransomware) y los diferentes parámetros. Para la creación del *dataset*, primero se enlista el parámetro o conjunto de parámetros de tal manera que se le agrega un identificador definido por el analista.

Identificador	**Descripción**
ARTEFACTO	Identificadores asociados a las muestras de ransomware por ejemplo 001 para CryptoLocker
FAMILIA	Identificadores asociados al tipo de ransomware, es decir bloqueador o encriptador. 1 para encriptador y 2 para bloqueador.
REGWRITE	Identificador asociado a claves de registro escritas
REGOPEN	Identificador asociado a claves de registro abiertas
REGREAD	Identificador asociado a claves de registro leídas
PROC	Identificador asociado al conjunto formado por pid, process_name y ppid.
PMFILES	Identificador asociado a los archivos de volcado de memoria generados. Se toma en cuenta pid y file como conjunto
PMURLS	Identificador asociado a urls generadas en la memoria
NETHOSTS	Identificador asociado a los host involucrados
NETREQUESTS	Identificador asociado a dominios a los que se les realiza peticiones.

Tabla 2 – Descripción de columnas del *dataset*

3. Escenario de prueba

Se considera un escenario de prueba en un ambiente aislado, el cual permite la obtención de información en bruto. Luego, se filtra los atributos requeridos para la conformación del *dataset*. El despliegue del ambiente seguro se basa en la utilización de la herramienta Cuckoo Sandbox (Cuckoo Sandbox Book, 2019) en el laboratorio de Ciberseguridad (Analítica de Datos Avanzada). La distribución es la siguiente: la máquina 1 contiene la

herramienta Cuckoo Sandbox, víctima 1 con Windows XP y víctima 2 con Windows 7. Cabe recalcar que todo el ambiente se encuentra virtualizado. Por otro lado, la máquina 2 servirá para el procesamiento de los modelos a aplicar basados en la selección estadística de algoritmos de aprendizaje de máquina y la máquina 3 permitirá el almacenamiento de grandes volúmenes de información (logs de sistemas) que se utilizarán con los modelos de aprendizaje de máquina. La topología de red utilizada para generar el *dataset* se presenta en la Figura 3.

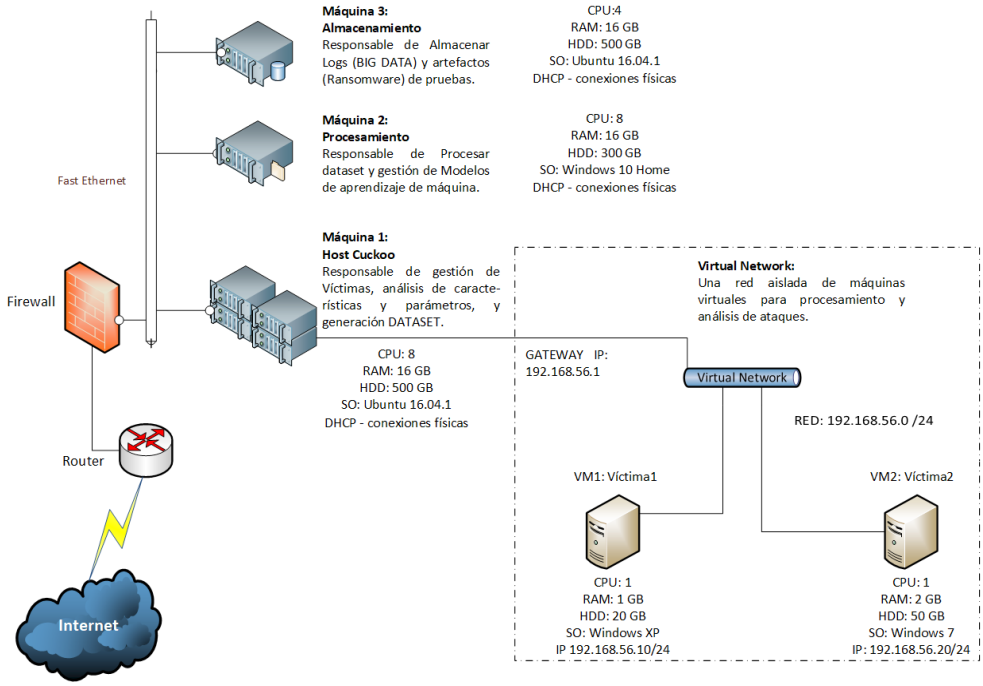


Figura 3 – Topología de red del ambiente de pruebas

Las muestras de ransomware con las que se realizaron los experimentos fueron CryptoLocker, CryptoWall, PetrWrap. Petya y WannaCry [1]. Como parte del experimento, se obtienen los datos de reportes basados en logs de Cuckoo (*.json, *.pcap, entre otros), con estos datos se procede a generar archivos .csv para proceder a analizarlos. Se realizaron un total de 100 análisis, considerando 20 análisis para cada artefacto. Para el caso de la máquina víctima 1 con Windows XP se ejecutaron diez análisis y de manera similar para la máquina víctima con Windows 7 (diez análisis). Los experimentos del presente trabajo se realizaron en la red de Ciberseguridad de la FIS-EPN, la cual se encuentra protegida a través de un firewall y reglas de control de acceso y control de servicios. Luego de la ejecución del ataque se obtienen los archivos “report.html” y “report.json”. El archivo “report.html” contiene información resumida y del archivo “report.json” se consideran los siguientes objetos: procmemory, network

[1] Directorio artefactos: (https://github.com/ytisf/theZoo/tree/master/malwares/Binaries)

y behavior. De manera complementaria, según lo considerado en la Tabla 1, de cada objeto seleccionado se eligen ciertas características adicionales para su análisis. En la Figura 4 se muestran las características del análisis (resaltadas con amarillo) para generar el *dataset*.

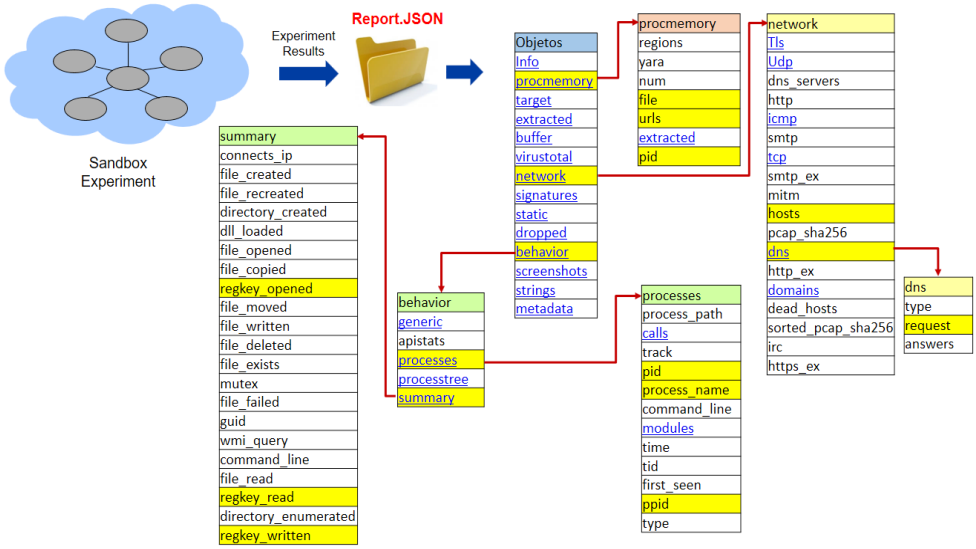


Figura 4 – Características analizadas para el *dataset* utilizando Cuckoo Sandbox

Como se puede observar en la Figura 4 se utiliza un subconjunto de los datos obtenidos de los reportes. Para ello se han enlistado y cuantificado las características analizadas.

4. Resultados

A partir de la información original obtenida (sin tratamiento) se realiza un filtrado de dichos datos, de tal manera que se determina un conjunto de características candidatas para elaborar el *dataset* requerido. Las características tomadas en cuenta vienen de diferentes objetos, los cuales son procmemory, behavior y network. A su vez estos objetos contienen un conjunto de características y anidaciones de las mismas denominadas subcaracterísticas.

El objeto "procmemory" se caracteriza por crear logs acerca de modificaciones en la memoria de los dispositivos infectados tomando en cuenta características como archivos de volcado de memoria, urls, procesos ejecutados en memoria, regiones de memoria afectadas entre las más relevantes. El resultado del análisis de este objeto, establece la cantidad máxima y mínima de archivos de volcado de memoria (archivos dmp) con sus identificadores de proceso y para los cinco artefactos usados en los experimentos. La Figura 5 muestra un análisis estadístico del promedio de archivos de volcado de memoria con identificador de proceso.

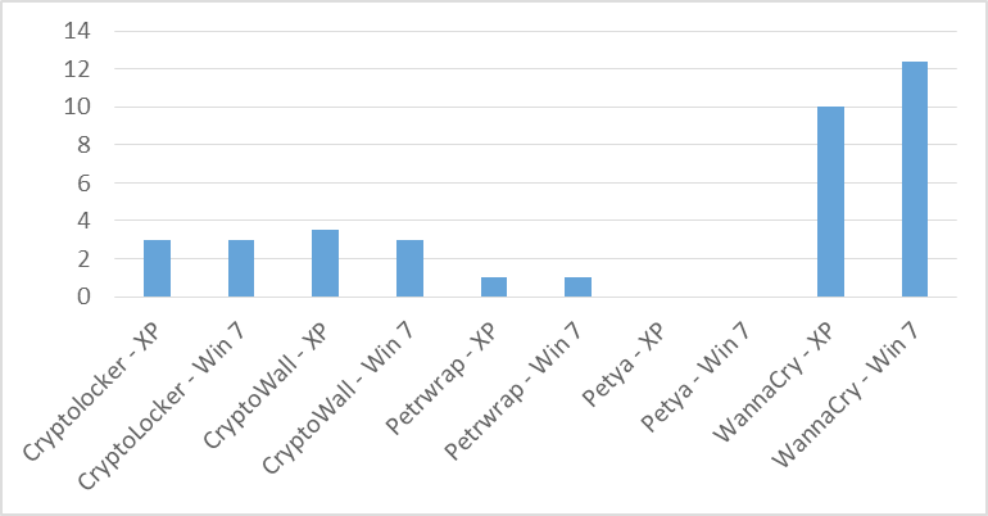


Figura 5 – Análisis Estadístico de archivos de volcado de memoria

Con estos datos se determina que el ransomware que más genera archivos de volcado es WannaCry. A la vez se observa que también se almacenan grandes cantidades de urls con el mismo ransomware. El objeto "network" caracteriza el comportamiento del ransomware con respecto a la comunicación en la red (protocolos involucrados, servidores a los que se realizan peticiones, nombres de dominio y hosts que interactúan en la comunicación).

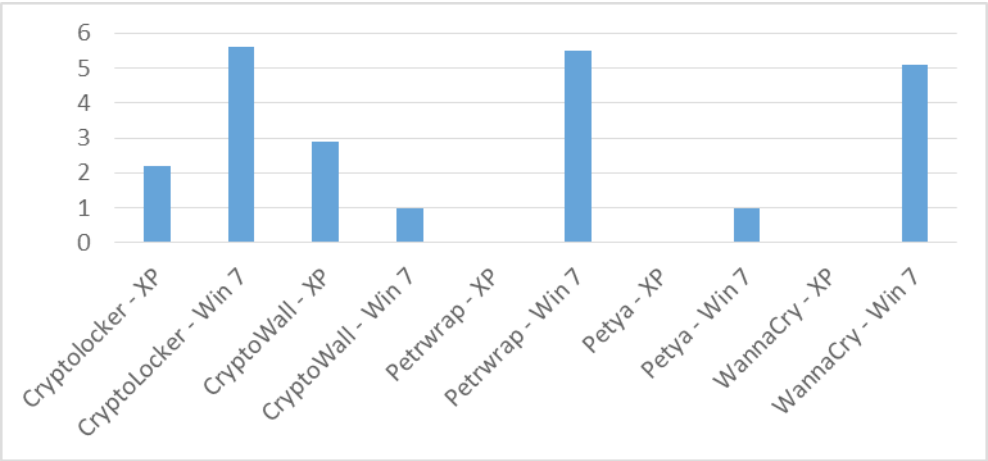


Figura 6 – Análisis Estadístico de hosts involucrados

Como resultado del análisis de este objeto, se establece la cantidad máxima y mínima de IPs involucradas y nombres de dominios a los que se ha realizado peticiones. Los atributos considerados son hosts (IPs de hosts involucrados) y request (nombres de dominios de las peticiones). La Figura 6 muestra un análisis estadístico del promedio de hosts involucrados.

El objeto "behavior" caracteriza el comportamiento del ransomware (procesos desencadenados, llamadas a bibliotecas, claves de registro invocadas, entre otras). Como resultado del análisis de este objeto, se establece la cantidad máxima y mínima de registros afectados y procesos ejecutados por los cinco tipos de muestras de ransomware. Los atributos considerados son procesos y registros abiertos, leídos y escritos. La Figura 7 muestra un análisis estadístico del promedio de procesos ejecutados.

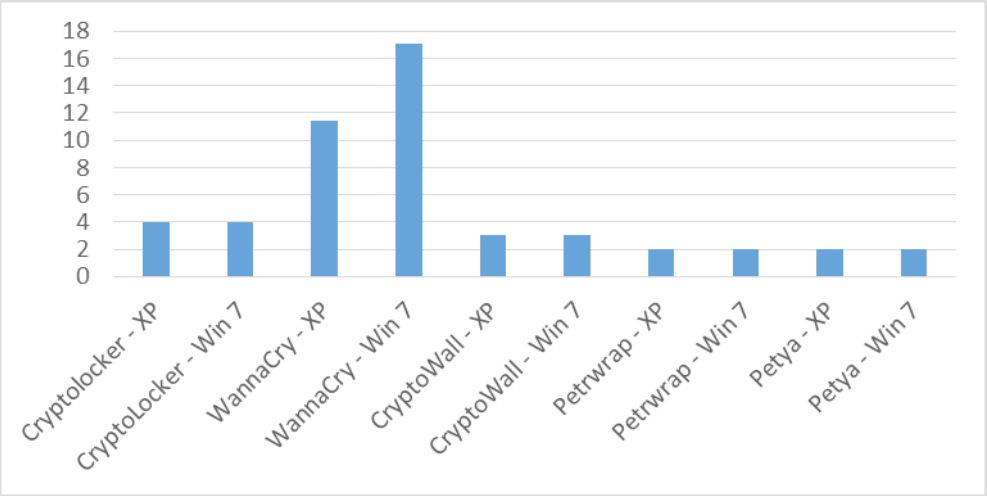


Figura 7 – Análisis Estadístico del Promedio de procesos ejecutados.

Con estos valores se sabe que WannaCry afecta en mayor medida a los sistemas víctimas tanto en procesos ejecutados como claves de registro afectadas. Las listas de las características elegidas permiten formar el *dataset* a partir de identificadores de cada una de las listas. El *dataset* asocia los artefactos (ransomware usados) con los procesos, claves de registro, archivos de volcado de memoria, urls almacenadas en memoria, direcciones IPs de hosts involucrados en la comunicación durante el ataque ransomware y nombres de dominios a los que se realizan peticiones. El *dataset* contiene diez atributos los cuales son:

- Artefacto: se refiere a los ransomware usados e identificados con los números 001 a 005.
- Familia: se refiere a si el ransomware es de tipo encriptador o bloqueador. Se identifica por los números 1 y 2.
- REGWRITE, REGOPEN REGREAD: se refiere a las claves de registro afectadas.
- PROC: Se refiere a los procesos involucrados en la infección del ransomware.

- PMFILES: se refiere al conjunto de archivos de volcado de memoria y los identificadores de procesos en memoria. Se han tomado estas características del objeto procmemory.
- PMURLS: se refiere a las urls almacenadas en memoria durante el proceso de volcado. También se ha tomado del objeto procmemory.
- NETHOSTS: se refiere a las direcciones IP de los hosts que interactuaron durante cada experimento realizado. Se han tomado del objeto network.
- NETREQUEST: se refiere a direcciones de nombres de dominio que interactuaron o se hicieron llamadas durante el proceso de comunicación del artefacto. Se ha tomado del objeto network y la característica DNS del mismo.

El detalle de cada parámetro, así como los valores obtenidos para el *dataset* se encuentra a disposición pública en el siguiente enlace: https://drive.google.com/open?id=1vgOi2jchr_a0HrRhK1KOa6_UjuaczMaf

4.1. Validación del Dataset

Para validar el *dataset* es importante mencionar que las características se han tomado con la ayuda de la herramienta Cuckoo Sandbox, la misma que permite generar un reporte que contiene un conjunto de objetos y características de cada artefacto analizado. Del reporte en formato ".json" se ha usado tres de ellos, i) procmemory (contiene características y subccaracterísticas de los procesos de memoria ejecutados durante el análisis en la herramienta), ii) network (contiene el comportamiento de red de cada artefacto con un conjunto de características) y iii) behavior (contiene el comportamiento del artefacto a nivel de sistema operativo). De estos objetos se han tomado características que se encuentran anidadas en el reporte ".json", según lo indicado en la sección 2.3. Metodología.

El criterio para elegir estas características ha sido la gran cantidad de procesos ejecutados tanto en memoria como en el sistema, el número de claves de registro alteradas, el número de peticiones que se realizan a servidores o host externos y la gran cantidad de urls almacenadas en memoria. También se debe aclarar que, en un sistema o dispositivo sin infección, al instalar un software legítimo las características antes nombradas no se ven tan afectadas como es el caso de los artefactos en estudio.

La siguiente fase es listar las características y asociarlas al respectivo artefacto para posteriormente filtrar duplicados y asignarles identificadores únicos. Además, para la validación del *dataset* se ha usado la herramienta RapidMiner, que utiliza la información obtenida en formato ".csv" limitado por comas.

El *dataset* consta de 6782 filas y 10 columnas. Las columnas representan las características a las que se les ha asignado identificadores únicos. Para poder verificar el número de familias de ransomware, artefactos usados entre otros datos se visualiza la pestaña "Stadistics". Esta pestaña muestra un resumen de la información del *dataset*, por ejemplo, para verificar que se tienen dos familias se despliega la característica familia y se observa que los datos coinciden. La Figura 8 muestra el resumen de la validación.

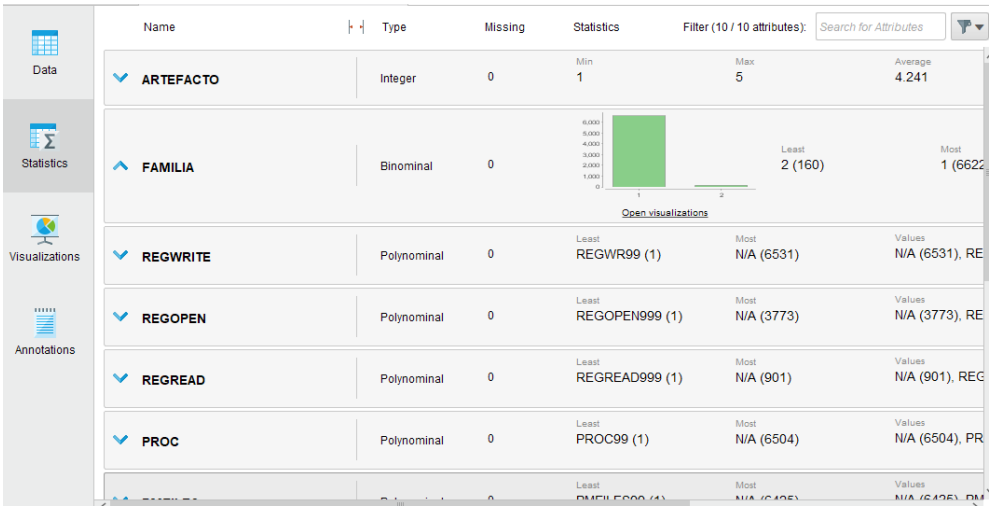


Figura 8 – Validación del *dataset* - Resumen de la pestaña Stadistics en RapidMiner

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

El presente trabajo contribuye con la selección y análisis de una lista de parámetros que permiten la identificación del comportamiento de un ataque ransomware. Dicha información ha permitido la generación de un *dataset* que será de carácter público. El principal desafío para la creación del *dataset* fue el procesamiento de las características seleccionadas de los artefactos y la preparación de su información estadística. El *dataset* propuesto considera parámetros relacionados al comportamiento de registros durante un ataque, los procesos de memoria y de red que permiten identificar si el ataque se relaciona con una muestra de CryptoLocker, CryptoWall, PetrWrap, Petya o WannaCry.

El *dataset* permite conocer de manera resumida que parámetros del malware afectan más a un sistema, de tal forma que su información podrá ser utilizada como punto de partida para la generación de nuevos métodos de detección de ransomware. Además, se facilita el proceso de investigación ya que no sería necesaria la recolección de datos para la experimentación. Al ser el *dataset* de carácter público podrá ser usado por la comunidad científica de forma que se pueda mejorar, modificar y compartir conocimiento.

Como trabajo futuro se podría utilizar la información del *dataset* para generar métodos de detección de ransomware en base a diferentes tipos de algoritmos o modelos de aprendizaje automático. Dichos métodos podrán ser validados o replicados ya que se tiene la información base con la cual se ha realizado la experimentación.

Agradecimientos

La presente investigación es auspiciada por la Escuela Politécnica Nacional como parte del proyecto interno "Detección de Ransomware a gran escala por medio de Seguridad Cognitiva" (2018), número PII-17-14.

Referencias

Cabaj, K., Gregorczyk, M., & Mazurczyk, W. (2017). Software-defined Networking-based Crypto Ransomware Detection using HTTP Traffic Characteristics. *Computers & Electrical Engineering*, 66, 353–368.

Chen, Z.G., Kang, H.S., Yin, S.N., & Kim, S.R. (2017). Automatic Ransomware Detection and Analysis Based on Dynamic API Calls Flow Graph. *In Proceedings of the International Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems*, Krakow, Poland (pp. 196–201).

Cuckoo Sandbox Book. *Cuckoo Sandbox v2.0.6 Book*. (2019). Recuperado de https://cuckoo.sh/docs/

ESET - *ESET enjoy safer technology* (2019). Recuperado de http://www.eset-la.com/pdf/kit-antiransomware/Guia-Todo_Sobre_Ransomware.pdf

Herrera, J., Barona, L., Valdivieso, A., & Hernández, M. (2019). A Survey on Situational Awareness of Ransomware Attacks: Detection and Prevention Parameters, *Article Special Issue Remote Sensing and Cyber Situational Awareness,* 2019, *11*, 1168. doi.org/10.3390/rs11101168.

Jung, S., & Won, Y. (2018). Ransomware Detection Method based on Context-aware Entropy Analysis. *In Soft Computing*. Springer Verlag - Berlin, Germany (pp. 1–10).

Kardile, A.B. (2017). *Crypto ransomware analysis and detection using process monitor*. (Master of Science in Computer Science), The University of Texas, USA.

Kharraz, A., Arshad, S., Mulliner, C., Robertson, W.K., & Kirda, E. (2016). UNVEIL: a large-scale, automated approach to detecting Ransomware. In *Proceedings of the USENIX Security Symposium*, Austin, TX, USA (pp. 757–772).

Kolodenker, E., Koch, W., Stringhini, G., & Egele, M. (2017). PayBreak: Defense against Cryptographic Ransomware. In *Proceedings of the 2017 ACM on Asia Conference on Computer and Communications Security*, Abu Dhabi, UAE, (pp. 599–611). New York: ACM.

Mehnaz, S., Bertino, E., & Mudgerikar, A. (2018). RWGuard: A Real-Time Detection System Against Cryptographic Ransomware. In *21st International Symposium, RAID 2018,* Heraklion, Crete, Greece. Cham: Springer.

Muhammad, S., Ahmed, K., Olalere, M., & Chiroma, H. (2019). Systematic literature review and metadata analysis of ransomware attacks and detection mechanisms. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 5 (2), 67-89, DOI: 10.1007/s40860-019-00080-3

Poriye, M. Zavarsky, P., & Lindskog, D. (2016). Experimental analysis of ransomware on windows and android platforms: evolution and characterization. *Procedia Computer Science*, 94, 465–472.

Sgandurra, D., Muñoz-González, L., Mohsen, R., & Lupu, E.C. (2016). *Automated Dynamic Analysis of Ransomware: Benefits, Limitations and Use for Detection*. Retrieved from: https://arxiv.org/pdf/1609.03020.pdf.

Sotelo, M., Maestre, J., & García, L. (2018). A novel Self-Organizing Network solution towards Crypto-ransomware Mitigation. In *Proceedings of the 13th International Conference on Availability, Reliability and Security*, (pp. 1-16). Alemania: ACM.

Takeuchi, Y., Sakai, K., & Fukumoto, S. (2018). Detecting ransomware using support vector machines. In *Proceedings of the 47th International Conference on Parallel Processing Companion*, Eugene, OR, USA: ACM.

Zahra, A., & Shah, M. A. (2017). IoT based ransomware growth rate evaluation and detection using command and control blacklisting. In *Automation and Computing (ICAC) 23rd International Conference*, (pp. 1-6). Huddersfield: IEEE.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 16/05/2019
Aceitação/Acceptance: 30/07/2019

Sistema de monitoreo y seguridad para transporte público en la modalidad de taxi

Francisco Jurado[1], Tannia Mayorga[1], Erika Escobar[1], Diego Donoso[2]

fjurado@uisrael.edu.ec, tmarorga@uisrael.edu.ec, eescobar@uisrael.edu.ec, djdonoso@uce.edu.ec

[1] Universidad Tecnológica Israel, Francisco Pizarro E4-142 y Marieta de Veintimilla, 170522, Quito, Ecuador.

[2] Universidad Central del Ecuador, Av. Universitaria, Ciudadela Universitaria, 170129, Quito, Ecuador.

Pages: 262–273

Resumen: En el presente artículo se presenta la propuesta de un prototipo de caja negra funcional para el uso en los vehículos de servicio de trasporte público que se desempeñan en la modalidad de taxi convencional; este sistema se encarga de recopilar información relacionada al comportamiento del vehículo como la ubicación, velocidad, imágenes de video del entorno junto a otra información producida durante su desplazamiento diario, proporcionando datos que ayuden al esclarecimiento de diferentes incidentes que se pudieran ocasionar. Adicional, posee un sistema capaz de proporcionar ayuda al conductor en caso de ser víctima de un asalto, proporcionando elementos que pueden llegar a ser de utilidad para proteger a los conductores y su entorno.

Palabras-clave: Seguridad; Caja Negra; Transporte público.

Monitoring system and security for public transport by taxi

Abstract: This article presents the proposal of a functional black box prototype for use in public transportation service, vehicles that perform in the conventional taxi mode. This system is responsible for collecting information related to the behavior of the vehicle such as location, speed, video of the environment along with other information produced during their daily travel, providing data to help clarify different incidents that may be caused. Additionally, this proposal includes a system capable of aiding the driver in case of being a victim of an assault, providing elements that can be useful to protect drivers and their work setting.

Keywords: *Security; Black Box; Public transport.*

1. Introducción

En la actualidad, los automotores constituyen un elemento importante para el desarrollo de las actividades de las personas. Las actividades económicas relacionadas con el transporte representan uno de los motores de la economía aportando al crecimiento social y económico. Es así como los avances tecnológicos se reflejan en las mejoras

que año a año presentan los fabricantes tanto en mejoras de potencia, comodidad para los pasajeros, capacidad de carga, seguridad en caso de accidentes entre otras (García Depestre, Delgado Martínez, Díaz García & García Armenteros, 2012). Todas estas constituyen mejoras en la seguridad de los automóviles por cuanto se relacionan directamente con el comportamiento de las personas cuando emplean los vehículos.

En lo relacionado a la seguridad vehicular toman gran importancia los sistemas antirrobo; su ausencia constituye una vulnerabilidad que podría ser aprovechada por personas que se dedican a esta actividad ilícita (LLacua, López & Quispe, 2018). Como evidencia de esta problemática día a día se escuchan y ven noticias relacionadas al robo de vehículos o sus partes.

El avance tecnológico en el sector vehicular se evidencia en la gran variedad de prototipos y dispositivos disponibles en el mercado enfocados a la seguridad (contra el robo, siniestros, accidentes); entre los trabajos que destacan se encuentra el presentado por Toquica & Guzmán (2016), en el cual se presenta una aplicación smartphone mediante la cual se reciben avisos de cualquier tipo de irregularidad referente a la integridad de un vehículo por medio del empleo de sensores conectados a un sistema embebido encargado de tomar acciones de aviso como las de activar una alarma captar imágenes y permitir advertir a la policía mediante el envío de un mensaje de texto empleando la aplicación instalada en el teléfono inteligente.

También resalta el trabajo presentado por Cajas & Viri (2017); en este proyecto se presenta el diseño e implementación de un sistema de seguridad anti robo empleando reconocimiento facial con el objetivo de poder poner en marcha a un vehículo de marca Chevrolet Aveo únicamente por personas autorizadas.

Junto a estos trabajos se encuentra también el realizado por Calderón (2011); este trabajo presenta la construcción de un prototipo para el bloqueo central de un vehículo por medio de mensajes de texto empleado la red de telefonía móvil permitiendo recibir información sobre una intrusión no autorizada al vehículo y enviar un código de tres dígitos para bloquearlo sin tener que encontrarse cerca del automotor para realizar estas acciones.

En esta misma línea, Amaya (2015) desarrolla una investigación de un prototipo de sistema de seguridad para vehículos empleando el reconocimiento facial del conductor por medio de la técnica de análisis de componentes principales (ACP) que permite obtener las características faciales más importantes de la imagen capturada para determinar si la persona está autorizada y puede encender el automotor.

Por último, Medina (2009) elaboró un sistema que ayuda a evitar el robo del vehículo empleando tecnología de comunicación móvil de tercera generación (3G) y un GPS (Sistema de posicionamiento Global) que con la ayuda de un software el propietario podrá estar informado de la ubicación del vehículo y de lo que sucede en su interior.

Al igual que los trabajos citados existen un gran número de propuestas, prototipos o estudias de sistemas de alarma antirrobo de vehículos; en este contexto también existen sistemas de seguridad desarrollados e implementados por los fabricantes de vehículos para proteger a los pasajeros en caso de accidentes. Tal es el caso del sistema de frenos antibloqueo ABS que evita, como su nombre lo indica, el bloqueo de los neumáticos. Con esto se evita que el conductor pierda el control del automóvil al momento de frenar bruscamente (Wolfgang Schuch, 1999).

También se encuentran los sistemas de Bolsas de Aire que se despliegan cuando ocurre un choque y que, junto a los cinturones de seguridad, ayudan a reducir los efectos de este,

el control de estabilidad que evita accidentes cuando un vehículo derrapa, el sistema de dirección asistida, el control de tracción, la suspensión activa entre otros. La mayoría de estos elementos se encuentran en los automóviles de serie y aportan a la seguridad de las personas al momento de desplazarse de un lugar a otro en los automóviles (Arízaga Cáceres & Gómez Rodríguez, 2015). Todos estos sistemas y dispositivos, en conjunto, aportan al desarrollo de la tecnología, pero por estadísticas presentadas por los organismos de gobierno encargados del tráfico vehicular, junto a las noticias diarias sobre accidentes de tránsito, parecen ser insuficientes.

2. Prototipo del sistema de seguridad y monitoreo

El sistema desarrollado consta de dos subsistemas: 1) subsistema para el monitoreo del comportamiento del vehículo durante su desplazamiento y 2) subsistema de seguridad, que servirá para apoyo al conductor en caso de producirse un robo.

2.1. Caja negra (Sistema de registro de información).

El sistema de monitoreo, al que se lo ha denominado caja negra, está conformado por un microcontrolador el cual capta las señales de los sensores y controla los actuadores y elementos de comunicación para almacenar la información importante relacionada al desplazamiento del vehículo.

Los datos definidos como importantes para ser almacenados dentro de la caja negra son estado de la vía (seca o mojada), velocidad, ubicación y la calidad de aire dentro del vehículo. Cada uno de estos parámetros están asociados a los sensores correspondientes. Además, para registrar lo que puede estar ocurriendo al exterior e interior del vehículo, el sistema dispone de una cámara y un micrófono.

Estado de la vía. Para medir este parámetro se emplea un sensor de agua conectado al microcontrolador mediante el cual se emitirá un aviso al conductor de que la calzada por la cual se encuentra transitando el automotor esta mojada para que tome las precauciones debidas como es la de reducir la velocidad. El esquema de conexión de esta parte del sistema se lo presenta en la Figura 1.

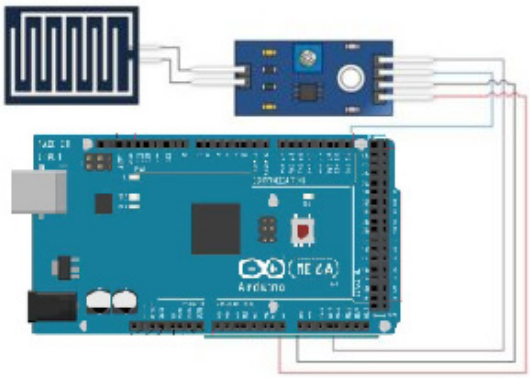


Figura 1 – Conexión sensor de agua

Velocidad del vehículo. Como información a ser registrada está la velocidad de desplazamiento del vehículo. Para ello se emplea el acelerómetro MPU6050 que entrega datos de los tres ejes de coordenadas al microcontrolador en donde se realiza la interpretación de estos obteniendo el valor de la aceleración en la unidad de medida de [m/s²]. Con el dato resultante es posible aplicar la relación para la variación de la Velocidad donde la Velocidad final es igual a la Velocidad inicial más el resultado del producto entre la aceleración y el tiempo.

Para obtener la velocidad final se emplean únicamente los datos de los ejes X e Y que proporciona el sensor para determinar la magnitud escalar de la velocidad en cada eje tomando como dato de muestreo un tiempo de 15 ms. Este dato empírico, obtenido al realizar varias pruebas de desplazamiento, permite reducir errores por falta de datos por la existencia intervalos de tiempo largos donde no se producen cambios en la aceleración. Con estos datos se aplica la relación para obtener la velocidad total que es igual a la raíz cuadrada de la suma de las velocidades de los ejes X e Y al cuadrado. El esquema de conexión se lo presenta en la Figura 2.

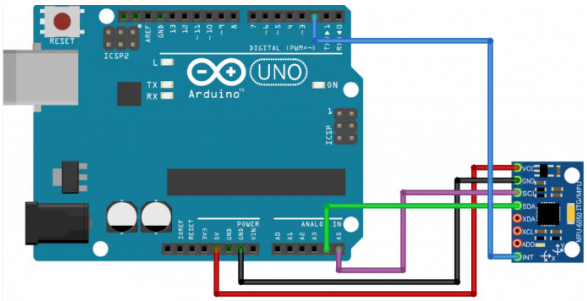


Figura 2 – Conexión acelerómetro

Calidad del aire. Para registrar este parámetro dentro del sistema se emplea el sensor MQ135. Este dispositivo permite detectar algunos gases peligrosos presentes en el ambiente como lo son el Amoniaco, Dióxido de Nitrógeno, Alcohol, Benceno, Dióxido y Monóxido de Carbono. Su rango de detección se encuentra entre 10 y 1000 partes por millón. El esquema de conexión se lo presenta en la Figura 3.

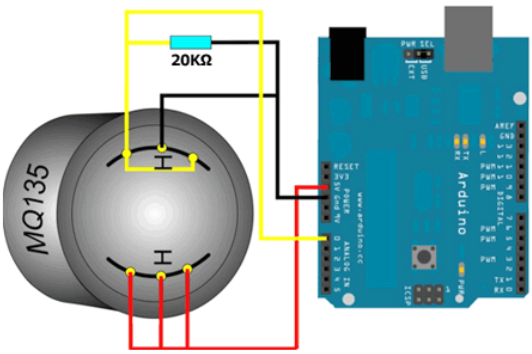


Figura 3 – Conexión sensor calidad del aire

Este dispositivo registra de forma constante los niveles de gases dentro del automotor para avisar al conductor cuando estos niveles estén fuera de los rangos normales. Por ejemplo, para el dióxido de carbono, el límite de exposición establecido es de alrededor de 625 ppm en una hora. En caso de que se supere este nivel se registra en el sistema y se emite una alarma.

Ubicación. El registro de la posición del vehículo se la realiza mediante el módulo NEO-6M GPS, el cual permitirá al sistema llevar un registro del desplazamiento que realiza el automotor. El esquema de conexión se lo presenta en la Figura 4.

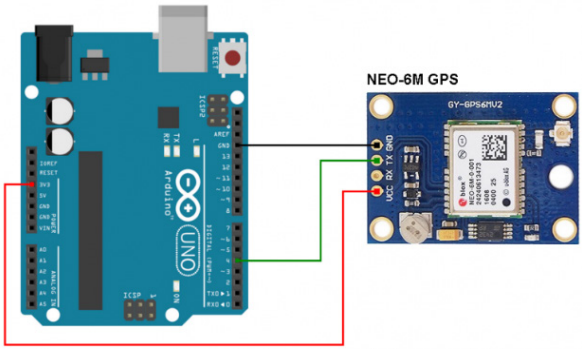


Figura 4 – Conexión modulo GPS

Temperatura. Este dispositivo registra de forma continua la temperatura en el interior del automotor generando una alerta cuando alcanza un nivel alto o muy bajo y el conductor este expuesto por largo tiempo. El esquema de conexión se lo puede observar en la Figura 5.

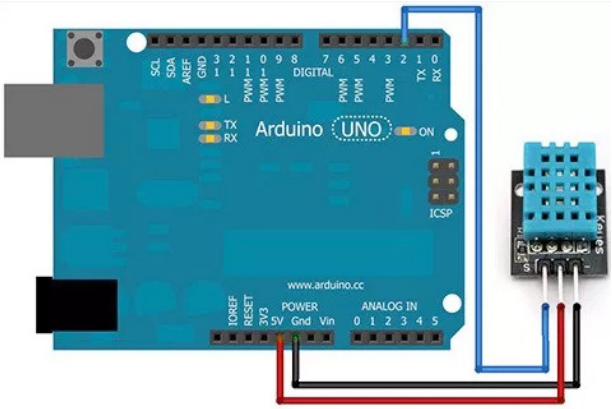


Figura 5 – Conexión sensor de temperatura

2.2. Sistema de seguridad del conductor.

El sistema correspondiente al módulo para ayudar al conductor en caso de ser víctima de un asalto es de activación manual. El dispositivo posee dos funciones. La primera

es la de reproducir un mensaje de voz para que sirva como distractor del asaltante y la segunda de encender el dispositivo para rociar al asaltante o asaltantes el gas pimienta que estará apuntando al lugar del pasajero y la parte posterior en caso de que existan más de un asaltante, para de esta forma dar la oportunidad de que el conductor salga del automotor y pueda pedir ayuda. El esquema de activación y ubicación se lo presenta en la Figura 6.

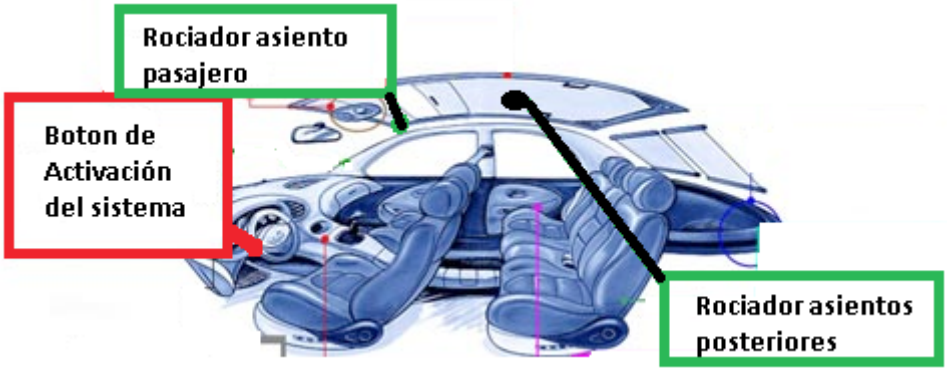


Figura 6 – Esquema de activación y ubicación Sistema de defensa

3. Descripción de los módulos del sistema

El sistema del prototipo presentado en este artículo está conformado por varios elementos, cuyas características se detallan a continuación, y que permiten que el dispositivo desarrollado cumpla con las características definidas en los esquemas presentados.

3.1. Alimentación.

El módulo de alimentación se conecta a la energía suministrada por el vehículo. Debido a que los elementos que conforman la caja negra emplean entre 3.3 V y 5 V, se emplea el conversor DC-DC XL4005 (Naylamp Mechatronics, n.d.) mostrado en la Figura 7, el cual permite distribuir las cargas a cada elemento de la caja negra.

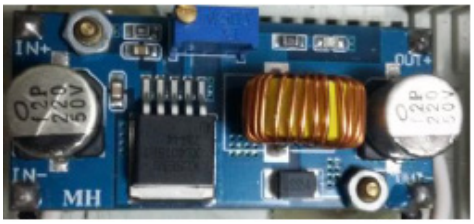


Figura 7 – Módulo fuente de alimentación

3.2. Etapa de Control

El módulo encargado de controlar los diferentes elementos que conforman el sistema es el Arduino Mega (Figura 8), el cual posee un microcontrolador Atmega 2560. En este elemento se procesan las diferentes señales recibidas de casa sensor y las acciones a realizar con cada uno.

Figura 8 – Módulo Arduino Mega

La elección de este dispositivo se la realiza por las características que este posee en la cantidad de pines digitales que pueden funcionar como entradas o salidas de comunicación importantes por los elementos que debe administrar el microcontrolador (Arduino, 2019) y realizar las acciones definidas en el sistema. Estas características se presentan en la Tabla 1.

Características	Arduino Mega 2560
Tipo de microcontrolador	Atmega 2560
Velocidad de reloj	54 MHz
Pines de digitales	16
Memoria de programa (flash)	256 Kb
Memoria de datos (SRAM)	8 Kb
Memoria auxiliar (EEPROM)	4 Kb

Tabla 1 – Características Arduino Mega

Al microcontrolador se conectan los sensores que proporcionaran los datos requeridos para cumplir con el objetivo de la caja negra; estos elementos, con su función respectiva, se los presenta en la tabla 2.

Elemento	Función
Acelerómetro - Giriscopio: Módulo MPU6050	Obtiene los datos de aceleración e inclinación.
Sensor de agua	Detecta la presencia de agua en la calzada, para con esta información emitir un aviso al conductor para que tome precauciones (Raindrop, n.d.).

Elemento	Función
Sensor de gases: Módulo MQ-1365	Mide la calidad de aire dentro del vehículo para evitar problemas por inhalación de gases como el CO2 (FILIPEFLOP, n.d.).
Sensor de temperatura	Mediante este elemento o se realiza un control de los niveles de temperatura dentro del vehículo.
Ubicación: Módulo GPS NEO 6M	Permite mantener un registro de la ubicación del vehículo("Modulo GPS u-blox NEO-6M," n.d.) .
Módulo GSM SIM 800	Este módulo permite enviar un aviso por medio de mensaje de texto cuando se presente un incidente.
Sistema de Grabación: Módulo Raspberry Pi3	Por medio del dispositivo Raspberry Pi3, una cámara y un micrófono se realiza la grabación de los diferentes eventos del entorno donde se desplaza el vehículo.

Tabla 2 – Sensores

4. Esquema general del desarrollo del sistema

El funcionamiento de los elementos ya detallados que conforman el sistema propuesto se lo presenta en la Figura 9, donde se detalla la forma en que se realiza la comunicación de los diferentes elementos.

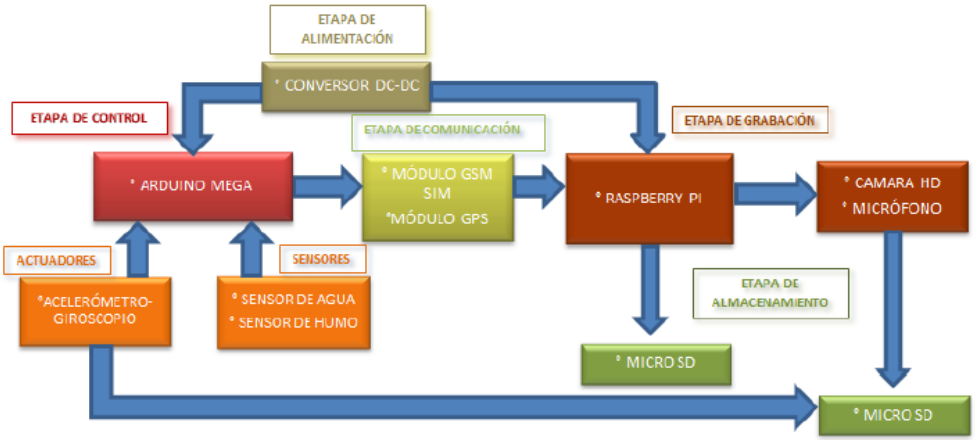


Figura 9 – Esquema de funcionamiento del sistema

La caja negra empieza su funcionamiento cuando alguno de sus sensores detecta un cambio brusco en los parámetros normales, como por ejemplo cuando existe un cambio de velocidad o de posición repentino (acelerómetro – giroscopio), o se detecta que el aire dentro del vehículo no es el adecuado y puede ser riesgoso. En este momento se envía una señal al módulo de grabación compuesto por la Raspberry Pi que comienza el

proceso de grabación de audio y video, se registra la ubicación y se envía un mensaje de texto al contacto de emergencia almacenado en el equipo notificando la existencia de un incidente. La ubicación del dispositivo dentro del vehículo se muestra en la Figura 10.

Figura 10 – Ubicación del dispositivo en el vehículo

Para el sistema de defensa incorporado en el vehículo se incorporó un botón de activación ubicado en el volante para que el conductor cuando sea víctima de un asalto lo presione encendiendo los rociadores de gas como defensa y reproduciendo un mensaje de voz como distractor para que de esta forma el conductor tenga la oportunidad de salir del vehículo y pedir ayuda.

5. Pruebas de Funcionamiento

La validación del funcionamiento del sistema se la realiza probando que cada sensor junto con el microcontrolador realice la tarea asignada. En primer lugar, se evaluó el funcionamiento del sensor de agua en vías de asfalto y adoquines donde se requiere al menos recorrer una distancia de alrededor 20 metros para que el microcontrolador, mediante un aviso, recuerde al conductor que se debe manejar con precaución y se registra el incidente en la caja negra.

El sensor que monitorea la calidad de aire en el automotor es probado mediante la generación de CO_2 dentro del vehículo. Los datos son enviados al microcontrolador para que cuando exista una concentración mayor a 650 ppm (partes por millón) de cualquier tipo de gas que este elemento puede detectar se avise al conductor y se registre el evento.

Para el acelerómetro -giroscopio una vez calibrada la sensibilidad de este elemento se realizaron varias pruebas para comprobar que se registran los eventos en la caja negra. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Prueba	Resultado
Desplazamiento del vehículo a 100 Km/h	Se registra el evento; emite el aviso respectivo
Desplazamiento del vehículo a 60 Km/h	Se registra el evento; emite el aviso respectivo.
Desplazamiento del vehículo a 50 Km/h	Se registra el evento; no se emite el aviso respectivo
Desplazamiento del vehículo a 40 Km/h	Se registra el evento; no se emite el aviso respectivo.

Tabla 3 – Pruebas de funcionamiento acelerómetro

6. Análisis de Resultados

El sistema de monitoreo y seguridad desarrollado permite llevar un registro de datos de la ubicación, velocidad, estado de la carretera y video, además de los avisos dados al conductor si se diera el caso de que este sea expuesto a niveles de aire contaminado o niveles de temperatura por un intervalo de tiempo extenso. Todos estos datos son registrados en caso de requerirlos por cualquier eventualidad en el sistema, de la misma forma que lo hace una caja negra en un avión.

De entre todas las variables que se monitorean y se registran en este sistema resaltan dos debido a la afectación directa en la salud del conductor. La primera es la calidad de aire y la segunda la temperatura al interior del vehículo. La primera variable se la consideró tomando en cuenta que el chofer de esta clase de vehículos empleados para el transporte de pasajeros en la modalidad de taxi pasa dentro de este hasta más de ocho horas al día.

De la misma forma ocurre con la temperatura; se la consideró importante por los efectos que se generan especialmente en épocas de verano, como los son sequedad en la boca, agotamiento, cansancio, debilidad muscular, dolor de cabeza, mareos o desmayos, nausea, calambres entre otros, si se llega a superar los 37 grados centígrados y la persona ha sido expuesta por periodos largos de tiempo.

7. Conclusiones

Los sistemas de seguridad relacionados a la seguridad de los pasajeros en un vehículo ayudan a minimizar los efectos de un accidente de tránsito, pero siempre la precaución que el conductor tenga en su desplazamiento es más efectiva que los sistemas existentes.

El prototipo de sistema de caja negra desarrollado sirve como elemento de ayuda para monitorear y evidenciar cualquier suceso que el conductor y los vehículos que se desempeñan como taxi pueda sufrir.

Los parámetros de la calidad de aire y temperatura incluidos en el sistema una vez concluidas las pruebas de funcionamiento ofrecen al conductor un medio para cuidar su salud por medio de los avisos de la calidad de aire y temperatura. De igual forma, permiten reducir el riesgo de sufrir un accidente por causa de una afectación a la salud que disminuya la capacidad de reacción del conductor.

El sistema de defensa incorporado puede servir para ayudar a salvaguardar la vida del conductor al proporcionar elementos que puedan distraer a la persona que cometa el delito para de esta forma el conductor del taxi tenga tiempo para salir del automotor y pedir ayuda.

Referencias

Amaya, A. (2015). Sistema alternativo de seguridad vehicular basado en reconocimiento facial. *Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato*. Ambato, Ecuador.

Arduino. (2019). Arduino Mega 2560 Rev3. Retrieved from: https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3.

Arízaga Cáceres, E. R., & Gómez Rodríguez, D. P. (2015). Análisis de los sistemas faltantes de seguridad vehicular de la categoría M1 en la norma NTE INEN 034: 2010 y una propuesta de mejora. *Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana*. Cuenca, Ecuador.

Cajas, M., & Viri, P. (2017). Diseño e Implementación de un sistema de seguridad vehicular mediante reconocimiento facial a través de visión artificial. *Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana*. Cuenca, Ecuador.

Calderón, C. (2011). Construcción de un Prototipo para el Bloqueo Central del Vehículo vía Telemática. *Facultad de Mecánica Escuela de Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Riobamba, Ecuador.

Filipeflop, (2019). Sensor de Gas MQ-2 Inflamável e Fumaça. Retrieved from: https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-gas-mq-2-inflamavel-e-fumaca/.

García Depestre, R. A., Delgado Martínez, D. E., Díaz García, E. E., & García Armenteros, R. R. (2012). Characterization of Vehicular Accidents and Analysis of Causes in the Province of Villa Clara, Cuba. *DYNA*, 79 (175), 191–200.

LLacua, E., López, J., & Quispe, J. (2018). Creación de un sistema de seguridad vehicular mediante bloqueo electrónico vía wifia. *Facultad de Ciencias Empresariales, Fundación Universitaria Católica Lumen Genium, Santiago de Cali*. Colombia.

Medina, J. (2009). Sistema de seguridad automotriz 3G/GSM. *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México*. D.F., México.

Navlamp, Mechatronics. (2019). Modulo GPS u-blox NEO-6M. Retrieved from: https://naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/106-modulo-gps.html

Naylamp Mechatronics. (2019). Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 5A XL4005. Retrieved from: https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/49-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-5a-xl4005.html

Gambino Electrónica. (2019). Sensor De Lluvia Raindrop Nivel De Agua Arduino Pic. Retrieved from: https://electronicagambino.com/tienda/sensor-de-lluvia-raindrop-nivel-de-agua-arduino-pic/

Toquica, L., & Guzmán, M. (2016). Desarrollo de Sistema de Seguridad para Automóviles con IOT y Smartphone. *Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Bogotá, Colombia.

Wolfgang Schuch, F. (1999). Manual de la Técnica del Automóvil (4th Ed.). Barcelona: Reverte.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 11/06/2019
Aceitação/Acceptance: 10/09/2019

Construcción de una red WiFi 5 definida por software para el análisis de calidad del servicio

Wilmar Yesid Campo Muñoz[1], Luis Eduardo Echeverry Londono[1], Gabriel Elías Chanchí G.[3]

wycampo@uniquindio.edu.co, leecheverryl@uqvirtual.edu.co, gchanchig@unicartagena.edu.co

[1] Universidad del Quindío, Cra. 15 Cll 12 norte, 630004, Armenia, Colombia.

[2] Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, Cll 30 No. 39 B - 192, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

Pages: 274–287

Resumen: El crecimiento en la demanda de servicios y número de usuarios conectados a la red ha llevado a que las empresas del sector de telecomunicaciones se vean obligadas a reestructurar las arquitecturas de sus redes para mejorar la calidad de servicio (QoS). Por tanto, los desarrolladores de tecnología de redes inalámbricas de área local han mejorado sus prestaciones con estándares como el WiFi 5, mientras la academia ha contribuido con un nuevo paradigma denominado redes definidas por software (SDN). Este artículo presenta como aporte la construcción de un escenario de experimentación emulado que busca integrar las redes SDN con el estándar WiFi 5. De este modo, el escenario combina elementos reales de las SDN como el controlador y el gestor, con elementos virtualizados como la red WiFi 5, para soportar un servicio de videostreaming. Finalmente, se obtienen parámetros de calidad de servicio que permiten validar el escenario SDN WiFi 5.

Palabras-clave: Calidad de servicio; ODL; SDN; Videostreaming; WiFi 5.

Construction of a software defined WiFi 5 network for service quality analysis

Abstract: The growth in the demand for services and the number of users connected to the network has led telecommunication companies to restructure their network architectures to improve quality of service (QoS). Therefore, developers of local area wireless network technology have improved their performance with standards such as WiFi 5, while the academy has contributed with a new paradigm called software defined networks (SDN). In this paper we present as a contribution the construction of an emulated experimentation scenario that seeks to integrate SDN networks with the WiFi 5 standard. In this way, the scenario combines real SDN elements such as the controller and the manager, with virtualized elements such as the WiFi 5 network, to support a videostreaming service. Finally, quality of service parameters are obtained that allow the SDN WiFi 5 scenario to be validated.

Keywords: ODL; Quality of service; SDN; Video streaming; WiFi 5.

1. Introducción

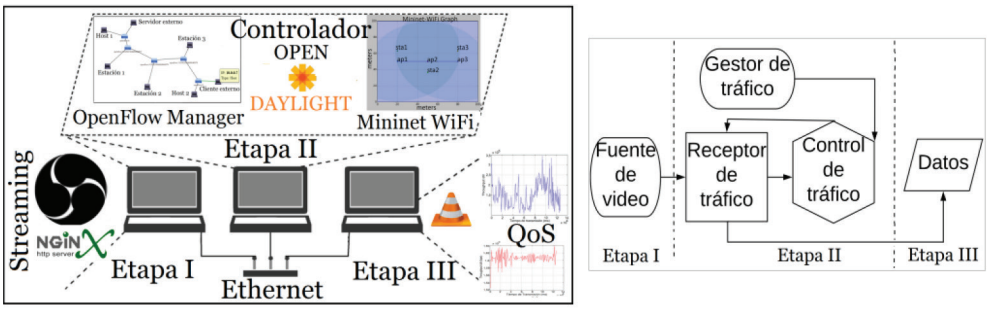
El crecimiento en la demanda de servicios, número de usuarios conectados a la red y el despliegue de redes móviles, ha llevado a que las empresas de telecomunicaciones busquen reestructurar las arquitecturas de sus redes con el propósito de mejorar la calidad de servicio QoS (Quality of service) y la calidad de la experiencia QoE (Quality of Experience) (Tong & Wade, 2017; Liotou, Samdanis, Pateromichelakis, Passas, & Merakos, 2018). Por otra parte, la red subyacente encargada de soportar los servicios está conformada por diferentes sistemas autónomos donde los ingenieros de las redes deben iniciar sesión en todos los dispositivos para configurar y gestionar las capacidades a través de dispositivos de hardware con sistemas operativos propietarios (Aslan & Matrawy, 2016). Como respuesta a este contexto, a nivel académico surge un nuevo paradigma denominado redes definidas por software SDN (Software Defined Networking). SDN pretende proporcionar interfaces abiertas que permitan el desarrollo de software para controlar la conectividad brindada por un conjunto de dispositivos de red y el flujo de tráfico a través de ellos, así como la posible inspección y modificación de las rutas del tráfico (Lopes, Santos, Fidalgo, & Fernandes, 2016). Además, debido al auge de los teléfonos inteligentes, los servicios de transmisión libre OTT (Over-the-top) y las redes sociales se ha incrementado el consumo del video en los hogares, donde el acceso a la red de datos se realiza principalmente vía WiFi. Según (Ericsson, 2018), para finales de 2024, se estima que un teléfono inteligente consumirá en promedio al mes más de 16,3 GB de videostreaming. Además, el número de suscripciones de teléfonos inteligentes aumentará en un 45 % respecto al 2018, alcanzando un total de 7.200 millones.

Por lo anterior el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) sigue aumentando las velocidades de las redes inalámbricas de área local WLAN (Wireless Local Area Network) con el objetivo de satisfacer las altas demandas de ancho de banda para servicios de video (Wang, Lin, & Wu, 2019). Por otra parte, el despliegue de las redes SDN se está dando a nivel de las grandes empresas que tienen la capacidad económica para invertir en equipos SDN. Así, este artículo presenta como aporte a la comunidad académica e investigativa un entorno básico de emulación de una red WiFi 5 definida por software para la experimentación y el aprendizaje. En este artículo se presenta como aporte la construcción de una red bajo el estándar IEEE 802.11ac, denominada desde el año 2018 por el WiFi Alliance como WiFi 5, mediante el paradigma de redes SDN. Finalmente, en la red construida se despliega el servicio de videostreaming evaluando sus parámetros de calidad de servicio.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma, en el apartado 2 se presenta la metodología, en el apartado 3 se describe la construcción del escenario de experimentación de la arquitectura SDN WiFi 5, en el apartado 4 se presentan los parámetros de QoS y finalmente en el apartado 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Metodología

En la figura 1, se muestra la arquitectura para soportar la red SDN WiFi 5 la cual está conformada por tres etapas.



a) Arquitectura de red b) Flujograma del tráfico de video

Figura 1 – SDN WiFi 5

En la etapa I de la figura 1.a, se cuenta con un servidor de videostreaming, el cual fue implementado usando el servidor HTTP NGINX, que usa la herramienta de software OBS (Open Broadcaster Software) para enviar el contenido multimedia a todos los dispositivos conectados a la red, esto es, la fuente de video del flujograma de la figura 1.b.

En la etapa II de la arquitectura de red, se llevó acabo la instalación de la herramienta Mininet-Wifi donde se desarrolló el prototipo de la SDN WiFi 5, que además de incluir sus propios dispositivos (esto es, los receptores de tráfico de la figura 1.b) también permite incluir la infraestructura de red tanto del servidor externo NGINX, como del cliente externo VLC (VideoLAN Client). Para llevar a cabo dicho proceso, fue necesario hacer uso del controlador ODL (OpenDaylight) y el gestor OFM (OpenFlow Manager), estos son, el control y el gestor de tráfico del flujorgrama la figura 1.b respectivamente. El controlador ODL envía las ordenes hacia los dispositivos de red a través del protocolo OpenFlow (Changhui, 2016), mientras que el OFM representa la capa de aplicación de la arquitectura SDN y es quien brinda la interfaz al usuario para recoger y enviar directrices de red al controlador.

En la etapa III de la arquitectura de red, se encuentra ubicado un dispositivo final, esto es, un cliente que consume los servicios ofertados por el servidor de videostreaming (reproductor VLC), esto son, los datos del flujograma de la figura 1.b.

3. Construcción del escenario de experimentación

3.1. Etapa I

En esta etapa se configura el servidor NGINX a través de su archivo nginx.conf, con el fin de permitir la transmisión de contenido de video bajo demanda, sobre el protocolo de mensajería en tiempo real RTMP (Real Time Messaging Protocol). El software empleado para transmitir el contenido multimedia es el OBS, el cual trabaja en conjunto con el software FFmpeg, empleado para las funciones de codificación y transmisión del contenido. Se define la librería x264, que es empleada por FFmpeg para codificar los

videos en el formato H.264. El control de frecuencia seleccionado para las transmisiones es una tasa de bit variable VBR (Variable Bit Rate) sin restricciones. Al implementar la codificación VBR sin restricciones, se especifica una tasa de bits para el flujo de datos que en este caso es de 3000 Kbps, sin embargo, el códec utiliza solo ese valor como la tasa de bits promedio y codifica para que la calidad del video sea lo más alta posible, mientras se mantiene dicho promedio. Se debe tener en cuenta que la tasa de bits real en cualquier instancia del flujo, puede variar considerablemente con respecto al valor definido. Para establecer el tamaño del búfer, la codificación establece el tamaño de la ventana, según los requisitos de las muestras codificadas. La ventaja principal de la implementación de VBR es que el flujo comprimido presenta la calidad más alta posible, mientras se mantiene dentro de un ancho de banda promedio (Balk, Gerla, Maggiorini, & Sanadidi, 2004).

3.2. Etapa II

En esta etapa se configura del controlador ODL para ser incluido dentro de la SDN WiFi 5 como un controlador remoto. Para realizar dicha acción es necesario modificar el archivo env.module,js obteniendo un control centralizado externo, con respecto a Mininet-Wifi. ODL permite la visualización de la topología de la red en su interfaz gráfica, dando detalles como las conexiones, puertos, nombres de los dispositivos, direcciones de control de acceso al medio MAC (Media Access Control), direcciones IP, estadísticas del tráfico recibido y transmitido. Además de esto, permite la conexión e inclusión del gestor OpenFlow OFM.

El siguiente paso en el desarrollo del escenario de experimentación es la creación y configuración de la red definida por software basada en la norma 802.11ac, esto es, la SDN WiFi 5. Para esto se utilizó la herramienta Mininet-Wifi. El lenguaje designado por Mininet-Wifi para la creación de las redes es Python. En la figura 2 se aprecia la inclusión de las librerías empleadas por la herramienta para la creación y puesta en funcionamiento de los dispositivos de red, dentro del script en donde se crea la SDN WiFi 5.

802.11ac.py

```
1  #!/usr/bin/python
2
3  from mn_wifi.net import Mininet_wifi
4  from mn_wifi.cli import CLI_wifi
5  from mn_wifi.node import OVSKernelAP
6  from mn_wifi.link import wmediumd
7  from mininet.net import Mininet
8  from mininet.node import Controller, RemoteController, OVSController
9  from mininet.node import CPULimitedHost, Host, Node, OVSSwitch
10 from mininet.node import OVSKernelSwitch, UserSwitch, OVSSwitch
11 from mininet.node import IVSSwitch
12 from mininet.cli import CLI
13 from mininet.log import setLogLevel, info
14 from mininet.link import TCLink, Intf
```

Figura 2 – Librerías para la creación de la SDN WIFi 5

Dentro de las librerías mostradas en la figura 2, está la mn_wifi.net que permite la importación de la función Mininet_wifi, la cual se emplea para la creación de la topología y para designar el funcionamiento WiFi dentro de los elementos que esta abarca. La mn_wifi.cli permite la importación de la función CLI_wifi que se emplea para incluir en la red, la interfaz de línea de comandos (CLI) Wi-Fi. La librería Mininet.node posibilita la importación de los controladores que pueden ser empleados en la red, para este caso se importa la función RemoteController que permite la creación del controlador remoto. Las demás librerías son necesarias para la creación de los dispositivos, los enlaces y la inclusión de los dispositivos reales externos.

En la figura 3 se aprecia la definición de la topología, sin especificar ninguna de las que tiene por defecto la herramienta, con el fin de crear la establecida para el escenario de experimentación, esto es WiFi 5. Se puede observar la creación de la red, en la que se establece que se trabaja desde las competencias de la bifurcación Mininet-Wifi. También se aprecia la creación del controlador remoto, la especificación de la dirección IP que conecta con el ODL de forma externa y el puerto de comunicación que es el 6633.

```
16  def topology():
17
18      print "**** Creando la red"
19      net = Mininet_wifi( topo=None, build=False, switch=OVSSwitch , controller=RemoteController)
20
21      print "**** Agregando el controlador remoto del proyecto"
22      c0=net.addController(name='c0', controller=RemoteController, ip='192.168.1.59', port=6633)
```

Figura 3 – Creación de la red y del controlador remoto para la SDN WiFi 5

En la figura 4 se aprecia el inicio de la creación de los dispositivos WiFi, que empieza por la instauración de las estaciones (sta). se crean 3 estaciones, cada una con una dirección IP y una posición de partida que se emplea para la movilidad. Se observan dos parámetros más en su creación. El primer parámetro corresponde al require_vht, al que se le asigna un valor de 1 para habilitar esta opción, y así brindar el soporte de las estaciones para el VHT (Very High Throughput), estándar que tiene como finalidad la implementación de la itinerancia (roaming) para los usuarios de alto rendimiento de forma transparente, la seguridad y la gestión de la red. Además, mejora de la eficiencia en el control del acceso al medio, la ampliación de los rangos de comunicación y el aumento del rendimiento de la red (Kosek-Szott & Cuka, 2018). El segundo parámetro corresponde al vht_oper_chwidth que también está asociado al VHT, a este se le asigna un valor de 2 para indicar que se trabaja con un ancho de banda del canal de 160 MHz.

```
24      print "*** creacion de los nodos wifi"
25
26      print "*** creacion de las estaciones"
27      sta1 = net.addStation( 'sta1', ip="10.0.0.1/24", position='20,60,0', require_vht ='1', vht_oper_chwidth='2')
28      sta2 = net.addStation( 'sta2', ip="10.0.0.2/24", position='50,40,0', require_vht ='1', vht_oper_chwidth='2')
29      sta3 = net.addStation( 'sta3', ip="10.0.0.3/24", position='80,60,0', require_vht ='1', vht_oper_chwidth='2')
```

Figura 4 – Creación de las estaciones para la SDN 802.11ac.

En la figura 5 se aprecia la creación de los puntos de acceso AP (access point) perteneciente al archivo de configuración denominado hostapd.conf. En la primera línea del código mostrado, se le asignan parámetros de funcionamiento como el nombre, el identificador del conjunto de servicios SSID (Service Set Identifier) para diferenciar las conexiones inalámbricas de cada AP, el mode = ac que habilita la implementación de la norma 802.11ac sobre el AP, el hw_mode = a para indicar que se va a trabajar en la banda de los 5 GHz, el ieee80211ac al que se le asigna un valor igual a 1 para habilitar la opción del VHT, el canal, la posición y el rango.

En la segunda y tercera línea de código mostrado, se tiene la habilitación y configuración de los parámetros multimedios WiFI WMM (WiFi Multimedia). Con la implementación del WMM se proporcionan técnicas de diferenciación de servicios a nivel de capa MAC, lo que le permite a la red manipular el tráfico de acuerdo con el nivel de prioridad establecido y, por tanto, mejorar notablemente la QoS (Touil & Fakhri, 2014). WMM surge con el estándar 802.11e y su mejora del acceso de canal distribuido EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) sobre la capa MAC, permite garantizar un buen nivel de QoS. Este protocolo tiene la capacidad de manejar múltiples tipos de tráfico como voz, transmisiones en tiempo real y video, de acuerdo con sus prioridades, para garantizar un buen rendimiento del tráfico. Esto se realiza a través del mecanismo de diferenciación de tráfico de múltiples colas o múltiples prioridades, en el que se basa la arquitectura de EDCA (Touil & Fakhri, 2014). Las características mencionadas también se incluyeron en la creación de la norma 802.11ac.

```
print "*** creacion de los puntos de acceso"
ap1 = net.addAccessPoint( 'ap1', ssid="ssid_1", mode= "ac", hw_mode="a", ieee80211ac="1", channel="36", position='20,50,0', range='100',
wmm_enabled='1', wmm_ac_vi_aifs='2', wmm_ac_vi_cwmin='3', wmm_ac_vi_cwmax='4', wmm_ac_vi_txop_limit='94', wmm_ac_vi_acm='0',
tx_queue_data1_aifs='1', tx_queue_data1_cwmin='7', tx_queue_data1_cwmax='15',tx_queue_data1_burst='3.0',
vht_capab='[MAX-MPDU-11454][VHT160][VHT160-80PLUS80][SHORT-GI-80][SHORT-GI-160][RXLDPC][TX-STBC-2BY1][RX-STBC-1234][MU-BEAMFORMER][BF-ANTENNA-3]

ap2 = net.addAccessPoint( 'ap2', ssid="ssid_2", mode= "ac", hw_mode="a", ieee80211ac="1", channel="40", position='50,50,0', range='100',
wmm_enabled='1', wmm_ac_vi_aifs='2', wmm_ac_vi_cwmin='3', wmm_ac_vi_cwmax='4', wmm_ac_vi_txop_limit='94', wmm_ac_vi_acm='0',
tx_queue_data1_aifs='1', tx_queue_data1_cwmin='7', tx_queue_data1_cwmax='15',tx_queue_data1_burst='3.0',
vht_capab='[MAX-MPDU-11454][VHT160][VHT160-80PLUS80][SHORT-GI-80][SHORT-GI-160][RXLDPC][TX-STBC-2BY1][RX-STBC-1234][MU-BEAMFORMER][BF-ANTENNA-3]

ap3 = net.addAccessPoint( 'ap3', ssid="ssid_3", mode= "ac", hw_mode="a", ieee80211ac="1", channel="44", position='80,50,0', range='100',
wmm_enabled='1', wmm_ac_vi_aifs='2', wmm_ac_vi_cwmin='3', wmm_ac_vi_cwmax='4', wmm_ac_vi_txop_limit='94', wmm_ac_vi_acm='0',
tx_queue_data1_aifs='1', tx_queue_data1_cwmin='7', tx_queue_data1_cwmax='15',tx_queue_data1_burst='3.0',
vht_capab='[MAX-MPDU-11454][VHT160][VHT160-80PLUS80][SHORT-GI-80][SHORT-GI-160][RXLDPC][TX-STBC-2BY1][RX-STBC-1234][MU-BEAMFORMER][BF-ANTENNA-3]
```

Figura 5 – Creación de los AP para la SDN 802.11ac

Los parámetros configurados en la segunda línea de código de la figura 5 son enviados a los clientes WMM cuando se asocian al AP, dichos parámetros son empleados por los clientes para transmitir las tramas hacia el AP. Los parámetros de la tercera línea de código son usados por los AP para transmitir las tramas hacia los clientes. Cabe resaltar que las dos líneas de código fueron configuradas con un nivel de prioridad alto, correspondiente a la del tráfico del video. En la cuarta y última línea de código para la creación de los AP, se tienen configurados los parámetros que establecen las capacidades del VHT. Entre estas capacidades se encuentran la unidad de datos de protocolo MAC MPDU (MAC Protocol Data Unit) y el agregado A-MPDU (Aggregate MAC Protocol Data Unit) siendo esta

ultima el método de agregación de múltiples MPDU. Esta técnica concatena múltiples paquetes de datos de la capa de red, en una súper trama para la transmisión, permitiendo reducir el nivel de sobre carga de la red, la reducción del tiempo de transmisión debido a que se ahorra la sobrecarga del encabezado y la reducción del tiempo entre tramas. La agregación de cuadros como se le conoce a esta técnica de forma general, proporciona un mayor rendimiento y velocidad de transmisión para las aplicaciones como voz sobre IP VoIP (Voice over IP) y la televisión de alta definición HDTV (High Definition Television) (Samih & Al-Hemiary, 2012). También se tiene el MU-BEAMFORMER que define la capacidad del AP para formar y emitir diferentes haces, que permiten que la señal se enfoque hacia donde se encuentren cada uno de los dispositivos conectados. Para esto es necesario que el dispositivo sea compatible con la norma WiFi 5 y que el AP presente en sus antenas, la implementación de MIMO (Samih & Al-Hemiary, 2012). También se asocian otros parámetros implementados como son la transmisión espacio-temporal por bloques STBC (Space–time block coding) STBC-2BY1que indica el soporte para la transmisión de al menos 2x1 STBC y el número de antenas soportadas y el soporte de haces dirigidos, esto es beamforming mediante el parámetro BF-ANTENA-3.

En la figura 6 se aprecia la creación de los nodos convencionales, esto son, los nodos de conexión Ethernet. Para crear los switches de la red se emplea la función addSwitch, se especifica el nombre de cada uno, que para este caso son S8 y S9. Para la creación de los hosts se empleó la función addHost, especificando su nombre y dirección IP y través de la función Intf se lleva a cabo la inclusión de los dos dispositivos reales. Por medio de la función PlotGraph se detallan las dimensiones de la rejilla de la gráfica en donde se representa la movilidad de las estaciones. Estas se definen de 100 m en el eje X y 100 m en el eje Y.

```
46
47      print "*** creacion de los nodo convencionales"
48
49      print "*** creacion de los switches"
50      s8 = net.addSwitch('s8')
51      Intf( 'eth1' , node=s8 )
52      s9 = net.addSwitch('s9')
53      Intf( 'eth2' , node=s9 )
54
55      print "*** creacion de los Host"
56      h1 = net.addHost('h1', ip='10.0.0.4/24')
57      h2 = net.addHost('h2', ip='10.0.0.5/24')
58
59      print "*** Configuracion de los nodos wifi  "
60      net.configureWifiNodes()
61
62      """ plot graph """
63      net.plotGraph(max_x=100, max_y=100)
64
65      print "*** Agregando los enlaces"
66      net.addLink(s8, ap1)
67      net.addLink(ap1, ap2)
68      net.addLink(ap2, ap3)
69      net.addLink(ap3, s9)
70      net.addLink(h1, s8)
71      net.addLink(sta1, ap1)
72      net.addLink(sta2, ap2)
73      net.addLink(sta3, ap3)
74      net.addLink(h2, s9)
```

Figura 6 – Creación de los switches, los hosts y los enlaces para la SDN WiFi 5

En la figura 6 también se puede apreciar la creación de los enlaces entre los diferentes dispositivos de la red. Los enlaces creados entre los hosts, los switches y los AP son conexiones cableadas Ethernet virtuales, los enlaces creados entre las estaciones y

los AP son conexiones inalámbricas virtuales. Por otro lado, en lo que respecta a los computadores externos, no se crea ningún tipo de enlace para su inclusión, ya que este se da a partir de la conexión Ethernet que los comunica con el computador que aloja el entorno SDN.

En la figura 7 se aprecia la implementación de la movilidad para los dispositivos de conectividad inalámbrica de la red. En primer lugar, se inicia la movilidad a través de la función *startMobility* en donde se especifica el tipo de asociación a los AP y el tiempo de inicio con respecto a la ejecución de la red. En segundo lugar, se inicia la movilidad de la estación, indicando la posición con la que fue creada y en qué segundo debe empezar a desplazarse con respecto a la ejecución de la red. En tercer lugar, se detiene la estación en la posición dada para que se pueda desplazar una distancia de 50 m en el tiempo establecido, y por último se detiene en general toda la movilidad del dispositivo.

```
76      net.startMobility( time=0, AC='ssf' )
77      net.mobility(sta1, 'start', time=5, position='20,60,0' )
78      net.mobility(sta1, 'stop', time=29, position='20,100,0' )
79      net.stopMobility( time=30 )
80
81      net.startMobility( time=0, AC='ssf' )
82      net.mobility(sta2, 'start', time=5, position='50,40,0' )
83      net.mobility(sta2, 'stop', time=29, position='50,0,0' )
84      net.stopMobility( time=30 )
85
86      net.startMobility( time=0, AC='ssf' )
87      net.mobility(sta3, 'start', time=5, position='80,60,0' )
88      net.mobility(sta3, 'stop', time=29, position='80,100,0' )
89      net.stopMobility( time=30 )
```

Figura 7 – Implementación de movilidad para las estaciones de la SDN WiFi 5

Para finalizar, la creación de la SDN basada en la norma WiFi 5, se aprecia en la figura 8, la inicialización de la red y del controlador remoto. Se observa la vinculación del controlador remoto ODL a los dispositivos AP y conmutadores de la red, para ser controlados de forma externa a la herramienta Mininet-Wifi. Al final se observa el inicio de la interfaz CLI WiFi de Mininet, el comando para detener la ejecución de la red y la finalización de la topología, en donde se incluyen los elementos y funciones definidas dentro de la misma. Una vez realizadas las pruebas de conectividad entre todos los dispositivos de la SDN, el controlador ODL cuenta con la información de la topología de red y el registro de los dispositivos.

3.3. Etapa III

En esta etapa de la arquitectura se usan las herramientas para reproducción del contenido de video VLC y para la captura y análisis del tráfico Wireshark.

De este modo, se realizó la configuración necesaria para la implementación de la SDN WiFi 5. Se cuenta con la interconexión entre el servidor encargado de generar y transmitir el contenido multimedia y el cliente externo, a través de la red emulada en Mininet-WiFi conformada por los hosts, estaciones virtuales los switches y los access point.

```
91      print "*** Iniciando la red"
92      net.build()
93      net.start()
94      c0.start()
95
96      print "*** Iniciando los puntos de acceso"
97      ap1.start( [c0] )
98      ap2.start( [c0] )
99      ap3.start( [c0] )
100
101     print "*** Iniciando los switches"
102     net.get('s8').start([c0])
103     net.get('s9').start([c0])
104
105     print "*** iniciando el controlador"
106     for controller in net.controllers:
107         controller.start()
108
109     print "*** iniciando el CLI"
110     CLI_wifi(net)
111
112     print "*** Deteniendo la red"
113     net.stop()
114
115 if __name__ == '__main__':
116     setLogLevel( 'info' )
117     topology()
```

Figura 8 – Vinculación del controlador ODL a la SDN WiFi 5

4. Parámetros de QoS del servicio de videostreaming

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para los parámetros de QoS, en las transmisiones de videostreaming de la SDN WiFi 5 con el protocolo RTMP. Para cada transmisión se exponen las métricas de la QoS, tanto para los paquetes de video como de audio.

Para determinar si la SDN WiFi 5 cumple con los parámetros de QoS, se toman como referencia los valores de la Tabla 1 proporcionados en (Muralidharan Baktha, 2017), los cuales son más exigentes a los establecidos en las recomendaciones del sector de normalización de las telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T G.1010, Y.1541 e IEEE 802.1p.

Métrica	Umbral video	Umbral Audio
Retardo	<= 150 ms	<= 150 ms
Jitter	<= 10 ms	<= 20 ms
Pérdida de paquetes	<= 5 %	<= 1 %

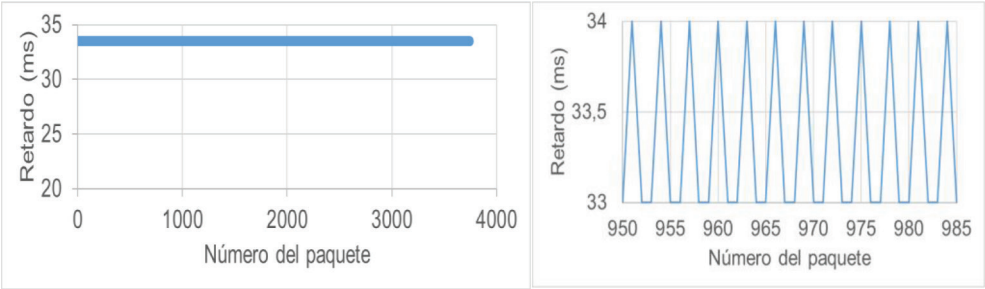
Tabla 1 – Referencias para las métricas dela QoS (Muralidharan Baktha, 2017)

El retardo es el tiempo que tarda un paquete en recorrer la red desde un dispositivo emisor hasta un dispositivo receptor. El jitter especifica las variaciones del tiempo de llegada de los paquetes individuales, es decir, que el jitter es la variación del

retardo existente en los paquetes recibidos. La pérdida de paquetes corresponde al descarte por parte de la red de algunos paquetes, debido a problemas internos como la congestión. Otro parámetro importante a tener en cuenta es el throughput o la velocidad de transmisión de bits, la cual corresponde a la cantidad de información útil enviada durante una transmisión.

4.1. Retardo

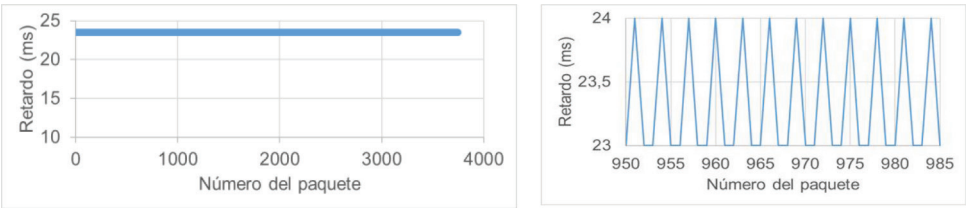
El retardo en los paquetes de video transmitidos con RTMP sobre las SDN WiFi 5 toma los valores de 33 ms y 34 ms, ver figura 9.a y figura 9.b. El valor de retardo de 33 ms es el que presenta una mayor probabilidad de ocurrencia, con un porcentaje del 66.7 %, mientras que el valor de 34 ms, presenta una probabilidad de ocurrencia del 33.3 %. Comparando estos valores con el establecido en la Tabla 1, se puede apreciar que el valor de retardo para los paquetes de video de 33 ms presenta una diferencia favorable de 116 ms, mientras que el valor de retardo de 24 ms presenta una diferencia a su favor de 117 ms.



a) Retardo de los paquetes de video

b) Acercamiento al comportamiento del retardo de los paquetes

Figura 9 – Retardo de los paquetes de video sobre las SDN WiFi 5



a) Retardo de los paquetes de audio

b) Acercamiento al comportamiento del retardo de los paquetes

Figura 10 – Retardo de los paquetes de audio sobre las SDN WiFi 5

El retardo en los paquetes de audio, toma los valores de 23 ms y 24 ms, ver figura 10.a y figura 10.b. El valor de retardo de 23 ms es el que presenta una mayor probabilidad de

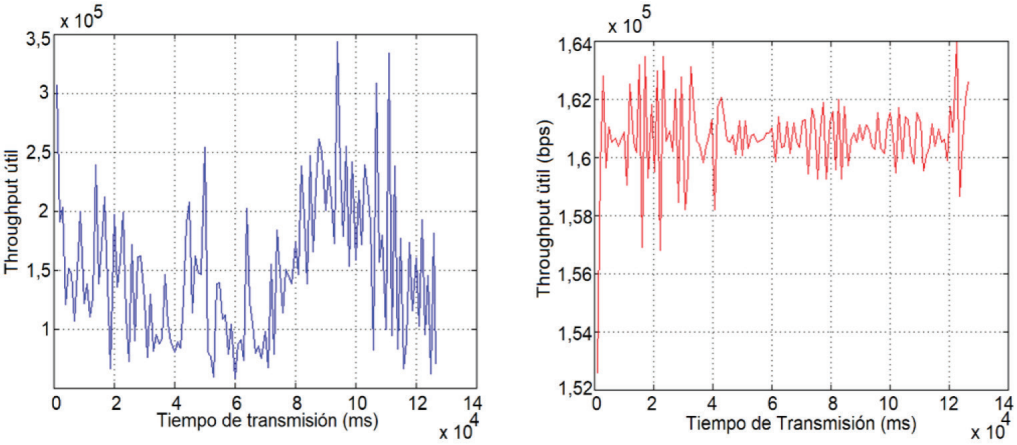
ocurrencia, con un valor de 0,78, mientras que el valor de 24 ms presenta una probabilidad de ocurrencia de 0,22. Al comparar los valores obtenidos con el registrado en la Tabla 1, se aprecia que el valor de retardo para los paquetes de audio de 23 ms presenta una diferencia favorable de 127 ms, mientras que el valor de retardo de 24 ms presenta una diferencia a favor de 126 ms. En general, la red SDN WiFi 5 para el parámetro de retardo del servicio de videostreaming, cumple y mejora el valor establecido en la Tabla 1, ofreciendo transmisión del contenido multimedia con una mayor calidad.

4.2. Jitter

El jitter de la transmisión de videostreaming con RTMP sobre la SDN WiFi 5, presenta un valor de 1 ms tanto para los paquetes de video como de audio. Este valor se establece de la variación del retardo, la cual se puede observar en las figuras 9.b para el vídeo y 10.b para el audio. Al comparar el valor obtenido con el registrado en la Tabla 1, se aprecia que el valor del jitter presenta una diferencia favorable de 9 ms para los paquetes de video y de 19 ms para los de audio. En general para los casos de la red SDN WiFi 5 en cuanto a la transmisión de videostreaming con RTMP, los valores del jitter, cumplen y mejoran el valor establecido en la Tabla 1, ofreciendo transmisión multimedia con mayor calidad.

4.3. Throughput

En la figura 11.a se observa el comportamiento de la capacidad de transferencia útil de los paquetes de video, es decir, los datos sin incluir las cabeceras de las capas de la pila de protocolos TCP/IP, el cual se denomina en este artículo como throughput útil (el proceso de desencapsulado se basó en el trabajo presentado en (Campo Muñoz, Bermudez, & Astaiza Hoyos, 2018)). En la figura 11.a se puede apreciar que los valores más bajos registrados para el throughput útil de video están cercanos a los 60 Kbps, mientras que los más altos están cercanos a los 350 Kbps, para un tiempo de



a) Throughput útil de los paquetes de video b) Throughput útil de los paquetes de audio

Figura 11 – Throughput útil sobre la red SDN WiFi 5

transmisión de aproximadamente 125 s. En la figura 11.b se observa el comportamiento del throughput útil para los paquetes de audio de la transmisión de videostreaming con RTMP. El comportamiento del throughput, presenta un valor alrededor de los 161 Kbps, para un tiempo de transmisión de 125 s.

4.4. Pérdidas

La tasa de pérdida de paquetes se calcula obteniendo la diferencia entre el número de bytes enviados por el nodo de origen, esto es, el servidor NGINX y el número de bytes recibidos por el nodo de destino, esto es, el cliente VLC. Los paquetes de audio y video del servicio de videostreaming no experimentaron pérdidas en su tránsito sobre la SDN WiFi 5, esto es, su valor es de cero paquetes perdidos, cumpliendo con lo establecido en la Tabla 1 y ofreciendo transmisión del contenido con mayor calidad.

5. Conclusiones y trabajos futuros

Los resultados obtenidos para las cuatro métricas de la transmisión de videostreaming con el protocolo RTMP, sobre la SDN WiFi 5, permiten determinar que los parámetros de QoS están muy por encima de los exigidos, destacándose los valores del jitter y pérdida de paquetes. El Jitter presenta un valor constante y muy pequeño de 1 ms y la pérdida de paquetes es igual a cero, es decir, no se presentan pérdidas de paquetes. Por otra parte, el parámetro de throughput útil permite conocer la tasa de transferencia real de los paquetes de usuario sin incluir las cabeceras de capa cuatro, tres y dos del modelo TCP/IP.

En el proceso de construcción de la arquitectura SDN WiFi 5 se combinaron diferentes herramientas, que permitieron la transmisión real del servicio de videostreaming en un escenario emulado. En dicho escenario se combinan el hardware y software real de la etapa I y III con elementos virtualizados de la etapa II y todos ellos orquestados mediante un controlador central ODL el cual recibe las directrices desde la capa de aplicación mediante el OFM.

El escenario de SDN WiFi 5 puede replicarse y extenderse a otras normas de WiFi, puesto que en cada etapa de la arquitectura se presenta los procesos de construcción de los elementos que intervienen en ellas. Así, en la etapa I se muestra como el servidor NGINX puede ser configurado para soportar el videostreaming y como el OBS permite la configuración de diferentes parámetros de la transmisión. En la etapa II se describen y muestran los parámetros de configuración de la norma 802.11ac, esto es, WiFi 5 donde se establece la canalización, la frecuencia de trabajo y otros parámetros propios de la norma. La etapa III solo hace uso del reproductor de video VLC y del analizador Wireshark.

Este trabajo permitió corroborar las ventajas que presenta una arquitectura SDN en cuanto al control basado en una lógica centralizada, que permitió implementar la gestión de la red desde un solo punto, sin necesidad de implantar en cada dispositivo las acciones a ejecutar. Separar el plano de datos del plano de control, permite una gestión más simplificada, donde el plano de datos se encarga de todos los procesos internos de comunicación, habilitando a los dispositivos de reenvió solo como puntos de distribución de información, con lo que logra reducir el tráfico, agilizar los procesos

de transmisión de datos y reconfiguración o ampliación de la topología de red. Así, como trabajo futuro se plantea contrastar con publicaciones similares las ventajas logradas con SDN Wifi 5.

Referencias

Aslan, M., & Matrawy, A. (2016). On the impact of network state collection on the performance of SDN applications. *IEEE Communications Letters*. https://doi.org/10.1109/LCOMM.2015.2496955

Balk, A., Gerla, M., Maggiorini, D., & Sanadidi, M. (2004). Adaptive video streaming: pre-encoded MPEG-4 with bandwidth scaling. *Computers Networks*, 415–439. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2003.12.002

Campo Muñoz, W. Y., Bermudez, H. F., & Astaiza Hoyos, E. (2018). Characterization of traffic of the video streaming service based on lexical analyzers. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, *26*(3), 448–458. https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000300448

Changhui, C. (2016). Research on QoS flow control method based on OpenFlow technology. *RISTI*, *17*, 14–26. https://doi.org/10.17013/risti.17B.14–26

Ericsson. (2018). *Ericsson mobility report November 2018* [Internet]. Retrieved from *www.ericsson.com/mobility-report*

Kosek-Szott, K., & Cuka, G. (2018). Consequences of performing DL MU-MIMO transmissions with TXOP sharing for QoS provisioning in IEEE 802.11ac networks. *IEEE Communications Letters*. https://doi.org/10.1109/LCOMM.2017.2780857

Liotou, E., Samdanis, K., Pateromichelakis, E., Passas, N., & Merakos, L. (2018). QoE-SDN APP: A Rate-guided QoE-aware SDN-APP for HTTP Adaptive Video Streaming. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, *36*(3), 598–615. https://doi.org/10.1109/JSAC.2018.2815421

Lopes, F. A., Santos, M., Fidalgo, R., & Fernandes, S. (2016). A Software Engineering Perspective on SDN Programmability. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2501026

Muralidharan, B. (2017). *Video Quality of Service (QOS) Tutorial* [Internet]. Retrieved from *https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-video/212134-Video-Quality-of-Service-QOS-Tutorial.pdf*

Samih, M., & Al-Hemiary, E. H. (2012). *Impact of TCP Congestion Control Algorithms on IEEE 802.11 n MAC Frame Aggregation* [Internet]. Retrieved from *https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-TCP-Congestion-Control-Algorithms-on-IEEE-Samih-Al-Hemiary/9084b8108e59a4e6eaec1f7085d44b94f12a8a82*

Tong, A., & Wade, K. (2017). *Essentials NFV and SDN Guide for Carriers and Service Providers* [Internet]. Retrieved from *https://media.ciena.com/documents/Blue-Planet-Essentials-NFV-and-SDN-Guide.pdf*

Touil, H., & Fakhri, Y. (2014). A fuzzy-based QoS maximization protocol for WiFi multimedia (IEEE 802.11e) ad hoc networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, *6*(3). Retrieved from https://www.ijcnis.org/index.php/ijcnis/article/view/767

Wang, X., Lin, F., & Wu, Y. (2019). A Novel Positioning System of Potential WiFi Hotspots for Software Defined WiFi Network Planning. In *2019 16th IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2019*. https://doi.org/10.1109/CCNC.2019.8651733

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 02/05/2019
Aceitação/Acceptance: 12/07/2019

Monitoreo y Videovigilancia basado en IoT en tiempo real de las Unidades de Transporte Colectivo

Tatiana Aguilar[1], Geovanni Brito[1], Santiago Altamirano[1], Andrea Sánchez[1]

tk.aguilar@uta.edu.ec, geovannidbrito@uta.edu.ec, santiagomaltamirano@uta.edu.ec, ap.sanchez@uta.edu.ec

[1] Universidad Técnica de Ambato, 180207, Ambato, Ecuador.

Pages: 288–301

Resumen: El Internet de las cosas (IoT) ofrece un mundo revolucionario conectado entre los objetos, su entorno y las personas. Este artículo presenta un sistema de monitoreo y videovigilancia basado en IoT de las unidades de transporte colectivo de la Universidad Técnica de Ambato. El sistema se basa en proveer servicio de Internet, la obtención de información de recorridos y localización, y en el monitoreo y videovigilancia de las unidades. Estos servicios se visualizan en una aplicación móvil que cumple el papel de interfaz para los estudiantes y el Administrador. El proceso inicia al receptar información de los satélites de posicionamiento global (GPS), luego se envían los registros a un servidor web para extraer los datos en el SBC del módulo Administrador. Además, en situación de riesgo el botón de pánico emite una alerta de correo electrónico verificada por el Administrador en tiempo real por medio del sistema de videovigilancia propuesto.

Palabras-clave: IoT; Videovigilancia; GPS; GSM; SBC.

Monitoring and video surveillance with real-time IoT of the Collective Transport Units

Abstract: The Internet of Things (IoT) offers a revolutionary world connected between objects, their environment and people. This article presents a monitoring and video surveillance system based on IoT of the collective transport units of the Universidad Técnica de Ambato. The system is based on providing Internet service, obtaining information about routes and location, monitoring and video surveillance of the units. These services are displayed in a mobile application that do the role of interface for students and the Administrator. The process begins when receiving information from the global positioning satellites (GPS), then the records are sent to a web server to extract the data in the SBC of the Administrator module. In addition, at risk the panic button issues an email alert verified by the administrator in real time through the proposed video streaming system.

Keywords: IoT; Video Surveillance; GPS; GSM; SBC.

1. Introducción

La evolución del transporte colectivo se relaciona con la contribución de diversos avances tecnológicos (Quiñonez, Lizarraga, Peraza, & Zatarain, 2019), acoplados al desarrollo de la infraestructura de las ciudades. Por lo tanto se acelera el proceso de modernización y se ofrece un servicio de calidad que se ajusta a las nuevas exigencias del mundo moderno (Khan, Khan, Zaheer, & Khan, 2012). Estas exigencias se encaminan a los sistemas de vigilancia, monitoreo, y conectividad englobadas en el concepto de Internet de las cosas (IoT) (Zambada, Quintero, Isijara, Galeana, & Santillan, 2015). Por otro lado, uno de los factores que se ha tomado en cuenta es la inseguridad que se presentan en los medios de transporte. Enfocándose principalmente en la escasa gestión operativa de los autobuses públicos para el control y seguridad del pasajero (Grande Ramos & Hugo, 2015).

Entre las investigaciones realizadas en el área de las soluciones móviles se menciona las siguientes: (Alzamora & Bautista, 2010) indica el control y monitorización del recorrido de los buses de transporte público mediante tecnología GPS, GSM (Peñafiel Yanza & Chenche Viliacís, 2018) y permite obtener datos de longitud, latitud y velocidad del vehículo almacenados en una base de datos local. También la plataforma Megaruta.co (Mejia, Gutierrez, & Mejia, 2016) que permite administrar la planeación, el control, la gestión y la información del transporte público en Colombia con GPS para el seguimiento del bus en las rutas establecidas. El diseño de un sistema de video vigilancia y seguridad (Sr et al., 2012) para disminuir la delincuencia con redes de fibra óptica GPON, además, de las tecnologías DAS (Almacenamiento Directamente Conectado), SAN (Almacenamiento por bloques) y NAS (Almacenamiento conectado a la red) que al operar sincronizadamente se puede cumplir con tareas como almacenamiento de datos, reproducción en tiempo real de las cámaras, realizar funciones de control por IP. Asimismo pusieron en marcha el proyecto llamado Sistema Integrado de Transporte Urbano "SITU" (Enciso-Quispe, Barba-Guamán, Sanchez & Quezada-Sarmiento, 2017) que tiene la finalidad de dar solución a las aglomeraciones de personas en horas pico y para ello utilizaron un contador de personas basado en la técnica de sensor visual o sensor cámara aplicando el algoritmo de detección de rostros Viola-Jones en el software MATLAB. En la conferencia de IEEE 2016 COLCOM (Soriano, Samper, Martinez, Cirilo, & Carrillo, 2016) usaron herramientas para obtener un transporte eficiente y sostenible utilizando la tecnología CKAN (gestionar el contenido de bases de datos) para administrar y controlar los datos enviados de las unidades de transporte hacia el administrador (Valenzuela, 2016).

El presente artículo tiene la siguiente estructura: En la metodología, se encuentra el diseño del sistema con el módulo Administrador. En materiales los dispositivos de localización y equipos para la gestión de la información. En métodos presenta el seguimiento y conectividad del transporte colectivo de la aplicación móvil, localización a través de mapas y el servicio de Internet a usuarios en tiempo real. Los resultados obtenidos de los servicios desarrollados y la implementación en la unidad de transporte. Finalmente se indican las conclusiones del desarrollo e implementación de la investigación.

2. Metodologia

En la Figura 1 se visualiza el diagrama de bloques. El sistema electrónico de las unidades de transporte es la parte inicial del prototipo, donde se realizan las conexiones del

GPS, botón de pánico y cámara IP; para la adquisición de datos y procesamiento de la información. Por otro lado, el sistema de localización GPS es capaz de proveer la información de la posición exacta del vehículo en tiempo real.

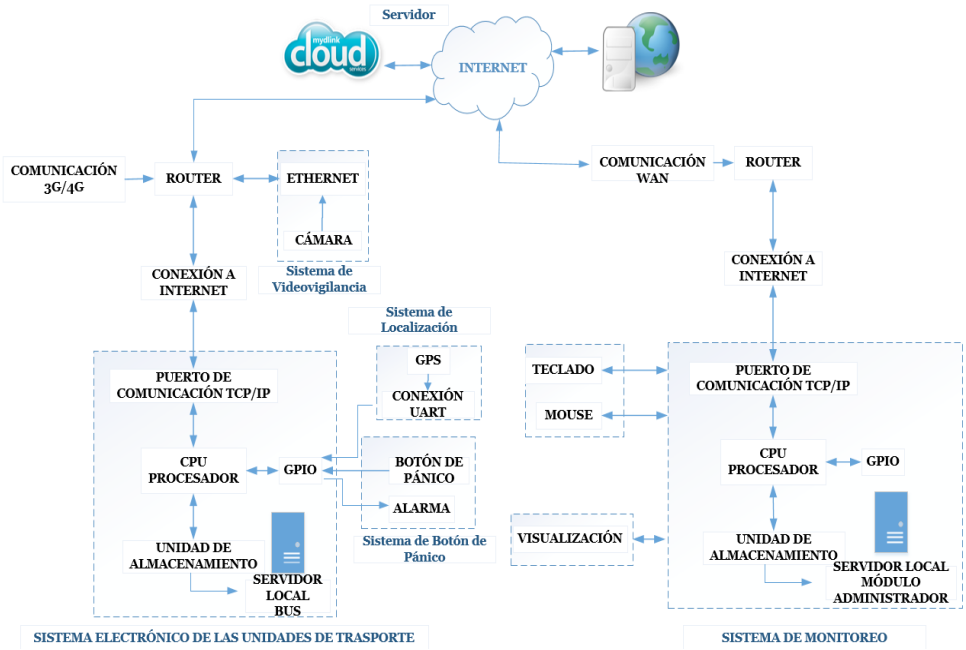


Figura 1 – Diagrama de bloques del sistema

El sistema de botón de pánico está ubicado en un punto estratégico en la unidad de transporte. Los dispositivos de red permiten la comunicación a través de Internet entre el sistema electrónico y el módulo Administrador. La comunicación 3G/4G/LTE provee de servicio de Internet a los usuarios y transmite la información generada por los dispositivos conectados en el sistema.

El sistema de videovigilancia compuesto por cámaras IP que se comunican en tiempo real con el módulo Administrador a través de Internet.

Para el envió de información se utilizan tres bases de datos: Servidor local de la unidad de trasporte o bus, servidor Web y servidor local del módulo Administrador.

2.1. Materiales

Para el sistema electrónico de las unidades de transporte se utilizó dispositivos electrónicos de hardware y software libre, donde se analizaron características como: puertos de comunicaciones, procesador, capacidad de almacenamiento, puertos de entrada y salida. Se utilizó una placa Raspberry Pi 3B + que cuenta con pines GPIO donde se conectaron los elementos que permitieron cumplir con los objetivos del sistema, siendo necesarios los puertos UART para la conexión del sistema GPS, los pines

de entrada y salida para el sistema de alarma, adicional, tiene una capacidad de 16GB a través de una SD clase 10 para almacenar datos y registros de las actividades que se generen en la unidad de transporte.

Módulo	**Gps U-Blox Neo-6m**	**Sim 808 Gsm/Gprs**	**Gps-Usb Glonass**
Banda de Frecuencia	L1 [1575.42MHz]	GSM 850 EGSM	L1 [1575.42MHz]
Tiempo de Captura	27s	30s	Menos de 1 segundo
Sensibilidad	Captura-148 dBm	Captura-147 dBm	-162 dBm
Velocidad de Transmisión	9600	9600	9600
Protocolo de Navegación / Comunicación	NMEA- UART	NMEA- Comandos AT	WGS-84- USB
Corriente/Tensión	45 m A / 2.7V ~ 5.0V	15 m A / 3.5-4.2V	28 m A /+ 3 3 + 5 V
Tamaño	23x30mm	24x24x2.6mm	53 x 24 x 9 mm
Costo (Dólares Americanos) /Durabilidad	$20 - 5 años	$45 - 5 años	$50 - 5 años
Pruebas realizadas	Alta precisión en ambientes despejados y nublosos	Utiliza más recursos y demora en presentar coordenadas	Precisión de coordenadas, sin conversión de datos

Tabla 1 – Comparación entre dispositivos GPS

En base a las características presentadas en la Tabla 1, se ha seleccionado el módulo U-BLOX NEO-6M por ser de bajo costo, su precisión, accesible y compatible con la Raspberry Pi 3B+ a través de la comunicación UART.

Para el sistema de alarma se colocó el botón de pánico, dispositivo silencioso, fácil de ocultar en la unidad de trasporte. Una vez presionado se envía un mensaje de alerta con la posición del vehículo por medio de una imagen de Google Maps.

Para el módulo Administrador se eligió un Router TP Link TL-WR840N, con un puerto WAN que es el encargado de establecer la conexión a Internet. Los usuarios a través de DDNS y la IP pública acceden a los datos alojados en el servidor, por este motivo es necesario tomar en cuenta los niveles de seguridad y si tiene soporte para DDNS y Port Forwarding.

Para las Unidades se ha optado por el Router TP-Link TL-MR3420, que cuenta con un puerto USB que permite la conectividad móvil a través de un módem 3G/4G.

También se ha seleccionado el módem 3G Huawei E173, por la interoperabilidad que presenta con el Router TP Link TL-MR3420, fácil instalación y bajo costo.

Para el sistema de videovigilancia se consideró diferentes cámaras IP, donde se analizan características como el tamaño, marca, resolución y aplicaciones web. Un aspecto importante es el sistema de compresión debido a que la información obtenida de la cámara es de gran tamaño y al no seleccionar la correcta compresión de acuerdo al ancho de banda puede saturar la red. El equipo para la instalación del prototipo se

utilizó DLINK DCS-932L, con las características requeridas y el estándar de compresión MPGE 4 para la codificación de voz y video.

En la Tabla 2 se muestra información de cámaras IP recomendables para el desarrollo del sistema:

Cámaras / Características				
Marca- Modelo	HIKVISION AE-VC123T-ITS	HIKVISION 2cd2020f	DLINK DCS-932L	HIKVISION AE-VC122T-ITS
Tipo/Lente	DOME /2.1mm	BULLET/4 mm	CUBE/5.01 mm	DOME/2.1mm
Resolución	720p	1920 x 1080p	640 x 480p	720p
Compresión	H.264 + y H.264	H.264/MJPEG	H.264+ y H.264	H.264+y H.264
Bit Rate	-	32Kbps- 8Mbps	32Kbps-4Mbps	-
Costo (Dólares Americanos)/ Durabilidad	$100/5 años	$109/5 años	$70/5años	$147/5 años

Tabla 2 – Comparación de cámaras IP

Todos los datos obtenidos por el sistema electrónico de la unidad de transporte se encuentran alojados en un servidor LAMP, establecido en el sistema operativo Linux, el servidor web Apache, el gestor de base de datos María DB y PHP como lenguaje de programación. Servicios instalados en la Raspberry Pi 3B+ de la unidad y en el módulo del Administrador, donde los usuarios pueden acceder de forma remota por medio de un navegador web o la aplicación Android al contenido del sistema.

2.2. Métodos

Para el desarrollo del proyecto se necesitó un software para la programación de la tarjeta de adquisición de datos, así como el diseño del circuito de potencia, creación de las interfaces y un sistema gestor de bases de datos.

Sistema electrónico de la Unidad de Transporte

Para configurar el sistema electrónico de la unidad de transporte, se utilizó el software libre Python 2.5, lenguaje de programación instalado en la Raspberry Pi 3 B+. Por otro lado, la conexión física del GPS se da con el pin GPIO 3.3V al VCC del módulo y el GND de la Raspberry Pi al GND del módulo. Para la comunicación entre el módulo GPS y Raspberry Pi se utiliza el puerto serie donde el transmisor (TX) y receptor (RX) deben estar cruzados.

La configuración del botón de pánico se visualiza en la Figura 2 donde la señal del botón se conectó al GPIO 16 de la Raspberry Pi y a GND.

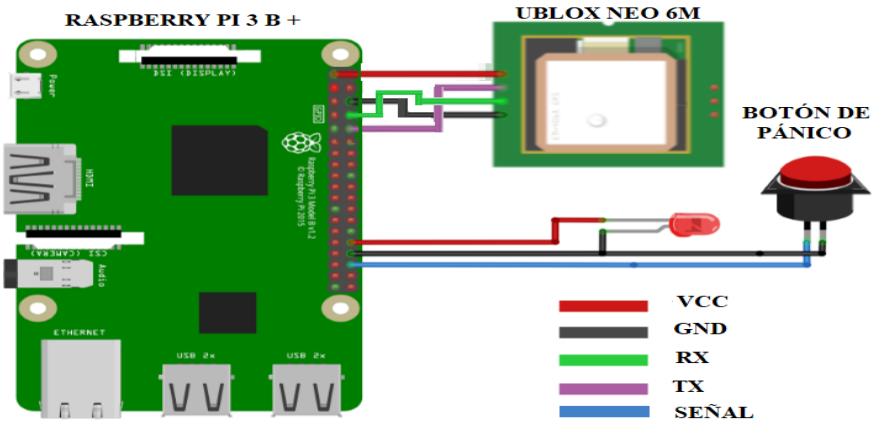


Figura 2 – Conexión de la Raspberry con el Módulo GPS y Botón de Pánico

En las Figura 3a se visualiza las líneas de código asociado para la obtención de las coordenadas emitidas por el módulo GPS a través de la Raspberry Pi.

```
gpsp.start()
while True:
    os.system('clear')
    print 'Latitud: ' , gpsd.fix.latitude
    print 'Longitud: ' , gpsd.fix.longitude

    if gpsd.fix.latitude == 0.0 and gpsd.fix.longitude == 0.0:
        print "Esperando GPS..."
    else:
        print "GPS OK"
        data = open("locations.txt", "a")
        data.write("%s,%s\n" % (gpsd.fix.latitude, gpsd.fix.longitude))
        data.close()
    time.sleep(10)
```

a)

```
Latitud:  -1.267121313
Longitud:  -78.631542157
GPS OK
^C
Desconectando GPS...
Ok.
Saliendo...
pi@raspberrypi:~/PHYTON $ ls
locations.txt  __pycache__  ta.py
pi@raspberrypi:~/PHYTON $
```

b)

Figura 3 – Líneas de código en Python del GPS

Una vez que se ha logrado capturar los datos geo referenciales del módulo GPS a través de la Raspberry Pi como se observa en la Figura 3b, se crea un archivo en Python quien toma la información de las coordenadas y guarda en el archivo local llamado locations. txt, el cual es utilizado para guardar en la base local de la unidad de transporte.

Después de configurar el archivo, se hace uso de la API de Google por la rápida integración de mapas. Permite brindar una imagen con buena percepción a los usuarios, adicionando el mantenimiento e innovación para futuras mejoras. La API utilizada es un demo para visualizar las coordenadas del GPS en Google Maps como se observa en la Figura 4 la cual no requiere pago alguno y es suficiente para lo requerido.

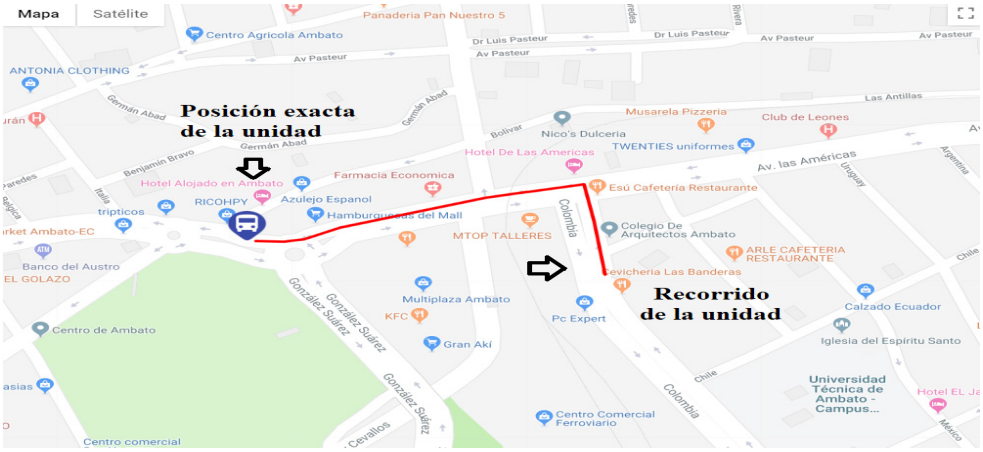


Figura 4 – Visualización de las coordenadas desde la API de Google

Para el prototipo se utiliza un botón de pánico conectado a la Raspberry Pi, el cual al ser accionado envía una notificación vía mensaje al correo electrónico institucional del Administrador utilizando el protocolo SMTP. En el mensaje se da un aviso de alerta y las coordenadas de la posición del vehículo, visualizadas en una imagen de Google Maps en tiempo real para mejor comprensión de la localización del mismo. El sistema de alerta se complementa con el sistema de videovigilancia para poder verificar si la unidad de transporte colectivo se encuentra en una situación de emergencia y así tomar las medidas necesarias.

Sistema de Comunicaciones

En la Figura 5 se muestra la conexión realizada para lograr acceso a Internet en las unidades de transporte:

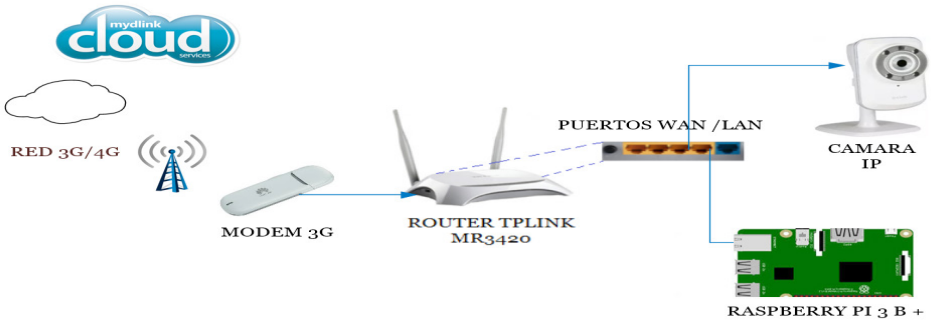


Figura 5 – Diagrama de conexión a Internet de las unidades de transporte

En la ciudad de Ambato, donde se va a implementar el prototipo, se ha considerado usar la tecnología 3G, considerando que 4G y LTE, aún no se encuentra desarrolladas por las distintas Operadoras de Telefonía Celular. La conexión se realiza con un módem 3G, que se encuentra conectado al router TPLINK MR3420, para poder realizar la conexión es necesario tomar las siguientes consideraciones: Las bandas de frecuencias se encuentren abiertas para cualquier operadora, que exista compatibilidad entre el router TPLINK MR3420 y la cobertura de señal del operador sea óptima para los propósitos del proyecto. La conexión se la realiza a través de señales generadas por las torres de radio que se expanden cuando se realiza llamadas por celular, en lugar de la voz, lo que se transmite son paquetes de información, como video y datos.

Los usuarios de las unidades de transporte pueden conectarse a una red de Internet generada por WIFI. La velocidad de conexión está limitada a la cobertura de la red 3G, y puede variar entre 2 Mbps y 5 Mbps.

La conexión de la Raspberry Pi con el router es importante porque se crea una red local y se puede utilizar sin problemas el servidor LAMP. Para no tener inconvenientes se asigna una dirección IP estática en la Raspberry Pi que una vez conectada vía cable Ethernet a uno de los puertos LAN esta se enlaza automáticamente al sistema, la conexión a Internet viene dada según la Figura 6.

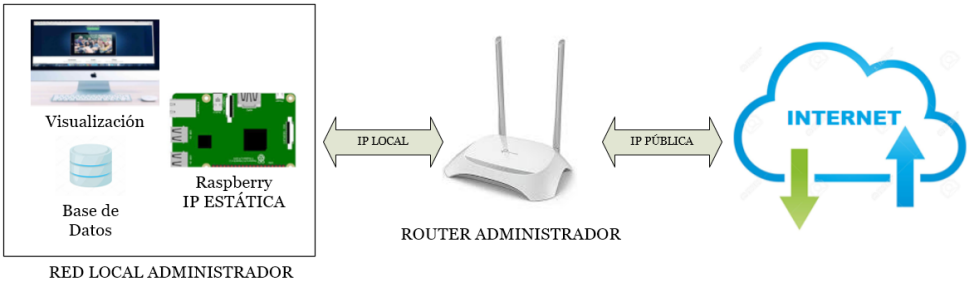


Figura 6 – Diagrama de conexión a Internet en el módulo Administrador

Sistema de Videovigilancia

Para la configuración de la cámara IP se puede utilizar diferentes métodos. En la actualidad existen proveedores como se muestra en la Tabla 2 que cuentan con sus propios sistemas de videovigilancia como es el caso de HIVISION. Su sistema HIK CONNECT se basa en P2P y permite controlar dispositivos de forma remota y administrar cuentas en la nube. Del mismo modo existen cámaras DLINK con su servicio MYDLINK el cual ha sido implementado como enlace externo en el prototipo como se observa en la Figura 5.

Al utilizar como conexión un módem 3G se tiene la limitante de no poder abrir puertos porque el servicio de Internet es proporcionado por una compañía de telefonía móvil (MOVISTAR, CLARO, CNT) donde la IP pública es compartida por varios usuarios. Es decir, el módem trabaja como un dispositivo conectado a un router externo al cual no se tiene acceso.

Por tal motivo se analizaron diferentes técnicas para la transmisión de video como Streaming, P2P o envío de datos por FTP. Para el envío de datos por FTP es necesario que la cámara IP sea compatible con el protocolo. Con la información enviada por FTP, se puede recuperar los datos a través de PHP desde el módulo Administrador. Para visualizar el video en tiempo real se diseña una interfaz dinámica, en el que cada segundo muestra una secuencia de imágenes donde se observa lo que sucede en la unidad de transporte en tiempo real.

Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica fue desarrollada en Dreamweaver un software diseñado para la elaboración de páginas web, en la Figura 7 se esquematiza las diferentes páginas de información de rutas, monitoreo de recorridos y videovigilancia para los usuarios y el Administrador respectivamente. El sitio web y la aplicación android son de fácil utilización.

Figura 7 – Interfaz de Usuario y Administrador

3. Resultados

Los datos obtenidos por el sistema fueron sometidos a un análisis donde se utilizó el tratamiento de errores de medida. El sistema se instaló en la unidad 10 de transporte de la Universidad Técnica de Ambato, la cual realiza el recorrido Campus Ingahurco – Huachi – Ingahurco. Se analizaron los valores de lectura de GPS y la exactitud del posicionamiento de la unidad con la comparación de datos entre el prototipo y un equipo GPS. Además, el tiempo de almacenamiento de los registros en las bases de datos, tiempo de respuesta del botón de pánico y el funcionamiento del sistema de videovigilancia.

3.1. Lectura del GPS

Los datos del GPS se obtuvieron al comparar valores generados por el prototipo y un equipo GPS marca GARMIN modelo Etrex10, en la Figura 8 se muestran los datos leídos desde la consola y el equipo.

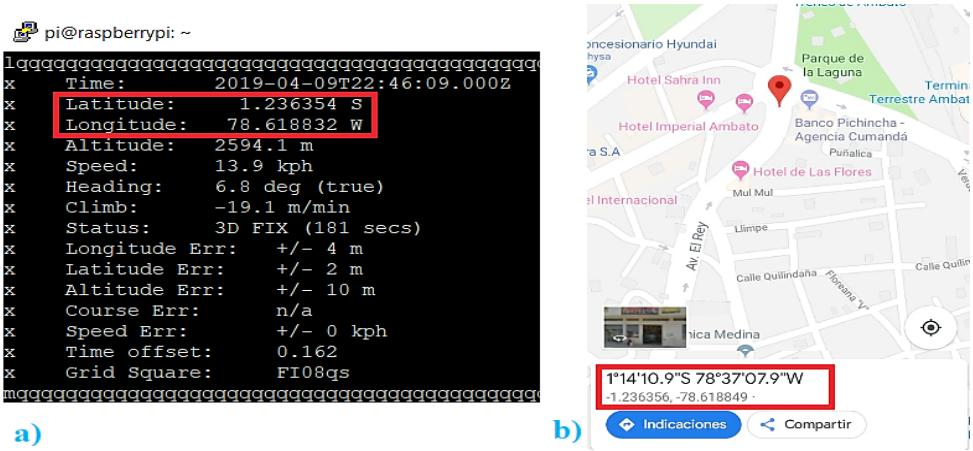


Figura 8 – a) Datos por UBLOX NEO 6M b) Equipo GPS

Para verificar la exactitud de la lectura de las coordenadas generadas por el prototipo y el equipo GPS se relaciona la latitud y la longitud. Los valores medidos a través de la ecuación de Haversine permiten establecer la distancia entre dos puntos en el globo terráqueo. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en diferentes sitios con condiciones climáticas (día despejado, nubloso y lluvioso). Presentando retardos en la recepción cuando el clima es nubloso y en ciertas zonas donde el perfil topográfico es irregular.

Descripción del Lugar	Ublox Neo 6M		Gps Garmin Etrex 10		Diferencias de distancias entre los GPS
	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	
UTA - Campus Huachi	*-1.2668*	-78.6253	-1.266815	-78.625382	4 metros
Colegio La Salle Ambato	*-1.2651*	-78.6251	-1.265116	-78.62509	2 metros
Av. Los Chasquis y Av. Los Atis	*-1.2616*	-78.6246	-1.261686	-78.624595	3 metros

Tabla 3 – Valores medidos por el módulo y equipo GPS

3.2. Ingreso de registros en la Base de Datos

El sistema cuenta con tres bases de datos:

- Base de datos del Administrador. - Los datos se registran en la base de datos local y genera un historial de las posiciones.
- Base de datos Web. - Sirve como medio transporte o puente entre la unidad y el módulo Administrador, en ella los registros se sobrescriben.
- Base de datos de la Unidad de transporte. - Se almacena los datos directamente de los dispositivos electrónicos (GPS, botón de pánico) y sirve como backup en caso de que la unidad se quede sin Internet.

Los datos de latitud y longitud se almacenan en la base de datos de la unidad de transporte, la información es enviada a la base de datos Web que posteriormente son extraídos y guardados en la base de datos del módulo Administrador donde son monitoreados por usuarios externos. El sistema se encuentra sincronizado a 10s por un script generado en el módulo Administrador. Mientras que el ingreso de información en la base de datos de la unidad y de la web se la realiza al mismo tiempo dependiendo de la conexión a Internet.

Además, los datos se encuentran almacenados de manea global donde cada registro es trabajado de manera independiente.

3.3. Comprobación de visualización de video

Para comprobar el correcto enlace se usó el sistema de prueba de la cámara, una vez comprobado que la transmisión al servidor se está ejecutándose de manera correcta, se dirige al sistema para poder visualizar el video en tiempo real como se observa en la Figura 9.

Figura 9 – Sistema de cámara en funcionamiento y prototipo

Para el envío de video se utiliza la conexión a Internet, razón por lo que existe un retardo de 10 segundos promedio. En las pruebas realizadas se observó la presencia de retardos pero que no afectan al funcionamiento del prototipo.

3.4. Botón de Pánico

Para determinar el tiempo de respuesta del botón de pánico se realizaron pruebas cronometradas en las horas pico de la Unidad de transporte. El promedio dio como resultado 8 segundos, tomando en cuenta que los horarios de prueba hay mayor afluencia de estudiantes. El sistema de botón de pánico es independiente a la transición de la base de datos, por lo que la red no se satura y no se utilizan muchos recursos.

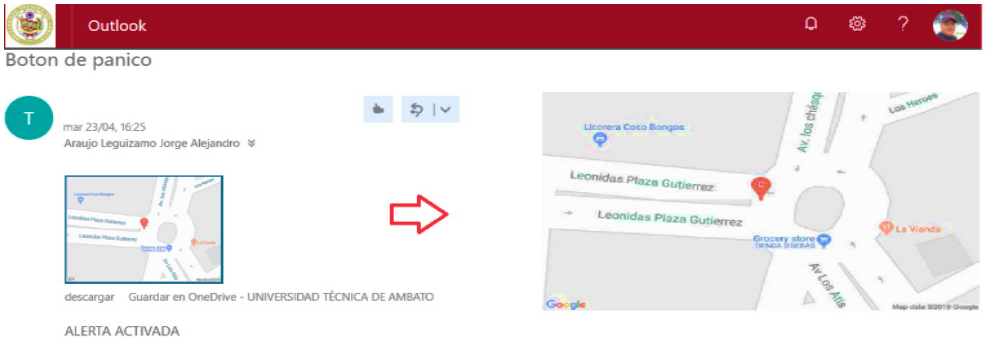


Figura 10 – Alerta de botón de pánico y envío por correo electrónico

Se analizó la posición donde se encuentra la unidad al momento que se pulsó el botón de pánico comparando la localización con la imagen adjuntada en el correo electrónico del Administrador son las mismas como se observa en la Figura 10.

4. Conclusiones

El prototipo para el monitoreo y videovigilancia de las unidades de transporte colectivo de la Universidad Técnica de Ambato se lo implementó físicamente en la unidad N°10 durante el recorrido normal del campus Ingahurco al campus Huachi y viceversa.

Los estudiantes y personal administrativo a través de la página web o aplicación tienen acceso a información completa sobre: recorridos, personal conductor y unidades. En la sección localización acceden a la posición actual de la unidad, aviso de paradas cercanas a 250 m y los tiempos estimados de espera en las paradas.

El Administrador tiene acceso a los mismos servicios del estudiante más el sistema de videovigilancia en tiempo real y el sistema de botón de pánico para generar una alerta al correo institucional con las coordenadas de la ubicación de la unidad y puede observar el interior de la unidad; el sistema implementado permite una respuesta inmediata en caso de emergencia.

Las redes 3G trabajan bien para la voz y datos, y en cuanto a Internet esta generación fue pionera en alta velocidad, sin embargo, hoy en día ya no es la red más rápida; 4G y LTE expanden el tamaño de la red y la velocidad mediante el uso de una estructura de red rediseñada con mayor velocidad y potencia en la comunicación con velocidades de entre 20 Mbps y 100 Mbps. Para el prototipo se ha utilizado la red 3G y no 4G por el análisis de mapa de cobertura de Movistar en la provincia de Tungurahua donde la señal es baja debido al perfil topográfico irregular y la ubicación de las antenas. Por lo que la migración a una nueva tecnología no será compleja de realizarla.

La tecnología 3G es óptima para la conexión de banda ancha móvil porque ofrece fiabilidad y un ancho de banda de hasta 384 Kbps. El módulo GPS Ublox 6M es una excelente alternativa de precisión, portable y de bajo costo. El router 3G/4G TL-MR3420 es compatible con la tecnología 3G que garantiza el acceso continuo de Internet, considerando que en las pruebas de funcionamiento realizadas se obtuvo un control de ancho de banda eficiente.

Para tener mayor control del vehículo, se pueden incluir varias cámaras de video conectadas a un video grabador (DVR) y éste conectado a internet. La visualización no se va a ver afectada con el sistema propuesto. El costo de un sistema comercial, en comparación con nuestro prototipo, es tres veces más caro, hay que considerar que los equipos comerciales no disponen de envió de información o mapas, al correo electrónico en caso de emergencia, y no poseen las bases de datos de respaldo que se implementaron en esta investigación.

Reconocimiento

A las autoridades de Universidad Técnica de Ambato (UTA), a la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, al Departamento Administrativo de la UTA y a la Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE de la UTA, por su apoyo a este trabajo y a las futuras investigaciones.

Referencias

Alzamora, P., & Bautista, A. (2010). Control y monitorización del recorrido de los buses de transporte público mediante tecnología gps y gsm [Internet]. Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2356/14/UPS-GT000128.pdf

Enciso-Quispe, L., Barba-Guamán, L., Sanchez, J., & Quezada-Sarmiento, P. A. (2018). Simulación de contador de personas para buses de servicio público de Loja con concepto IoT aplicando el algoritmo de Viola-Jones. In *13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, (pp. 1–6). Caceres: IEEE.

Grande Ramos, J. H. (2015). Factores que generan inseguridad en medios de transporte urbano (buses) en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2014 [Internet]. Retrieved from http://repositorio.istpn.edu.ec/handle/123456789/191

Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. In *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology* (pp. 257–260). IEEE. https://doi.org/10.1109/FIT.2012.53

Mejia, J. A. S., Gutierrez, A. A. O., & Mejia, S. E. (2016). Technological web platform for integrated public transport system (SITP) of the West Center Metropolitan Area in Colombia. In *CHILECON 2015 - 2015 IEEE Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, Proceedings of IEEE Chilecon 2015* (pp. 763–770). https://doi.org/10.1109/Chilecon.2015.7404658

Peñafiel Yanza, L. E., & Chenche Viliacís, F. (2018). La convivencia de la tecnología 4G con 3G y 2G en Ecuador. *Investigatio*, *6*(6), 15–37. https://doi.org/10.31095/investigatio.2015.6.1

Quiñonez, Y., Lizarraga, C., Peraza, J., & Zatarain, O. (2019). Sistema inteligente para el monitoreo automatizado del transporte público en tiempo real. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (31), 94–105. https://doi.org/10.17013/risti.31.94-105

Soriano, F. R., Samper, J. J., Martinez, J. J., Cirilo, R. V., & Carrillo, E. (2016). Smart cities technologies applied to sustainable transport. Open data management. In *8th Euro American Conference on Telematics and Information Systems* (pp. 1-5). Cartagena: IEEE. https://doi.org/10.1109/EATIS.2016.7520155

Samaniego Rojas, P. A., & Veintimilla Ocampo, P. J. (2016). Diseño del sistema de video vigilancia y seguridad para el sistema integrado de transporte urbano de la ciudad de Loja (Situ). (Tesis de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones), Universidad Nacional de Loja. http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10903

Monteros Mejia , J. L. (2015). Diseño de un sistema de video-vigilancia inalámbrico para la ciudad de Cayambe. (Tesis de Ingeniería en Electrónica y Redes de Información), Escuela Politécnica Nacional. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10648

Zambada, J., Quintero, R., Isijara, R., Galeana, R., & Santillan, L. (2015). An IoT based scholar bus monitoring system. In *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)* (pp. 1–6). Guadalajara: IEEE. https://doi.org/10.1109/ISC2.2015.7366202

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 19/06/2019
Aceitação/Acceptance: 29/09/2019

Revisión a la Seguridad de Sistemas de Control Industrial que utilizan PLC Siemens S7-1200

Santiago Manzano[1], Luis Vite[1], Marlena León-Mendoza[2], Mayra Villacis-Iza[3], Diego Andaluz-Espinosa[3]

{victorsmanzano, lvite7884}@uta.edu.ec, mleon@uees.edu.ec, {mavillacis7, dfandaluz}@espe.edu.ec

[1] FISEI, Universidad Técnica de Ambato, Av. Los Chasquis y Río Payamino, 180103, Ambato, Ecuador.

[2] ESAI, Universidad Espíritu Santo, Km. 2,5 vía a Samborondón, 092301, Guayaquil, Ecuador.

[3] ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas. Parroquia Belisario Quevedo, Latacunga-Ecuador.

Pages: 302–313

Resumen: El incremento de ataques cibernéticos a Sistemas de Control Industrial han cuestionado la seguridad de los dispositivos conectados a una red en el sector industrial. El presente artículo presenta los resultados de una auditoría de seguridad informática realizada a una empresa pública de la ciudad de Ambato. La metodología utilizada se dividió en las siguientes etapas: 1) alcance-descubrimiento, 2) análisis de vulnerabilidades, 3) intrusión e 4) informe. Inicialmente se evaluó la seguridad de un banco de prueba de dispositivos de control industrial y, posteriormente, se aplicó en el Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos de la entidad caso de estudio. Como resultado se corroboró la existencia de vulnerabilidades en este tipo de sistemas cuya importancia es comúnmente desestimada. El estudio realizado demuestra la importancia que tiene la actualización y correcta configuración del *BIOS* de los dispositivos industriales de control para protegerlos de posibles ataques cibernéticos.

Palabras-clave: Sistema de supervisión, control y adquisición de datos; dispositivos de control industrial; hacking ético; seguridad; ataque cibernético.

Security Review of Industrial Control Systems based on PLC Siemens S7-1200

Abstract: The grow of cyber-attacks to Industrial Control Systems have alerted about security issues on the protection of networked devices in the industrial sector. This article presents the results of an ethical hacking which was carried out to a public company in the city of Ambato. The methodology of the research was divided into the following stages: 1) scope-discovery, 2) vulnerability analysis, 3) intrusion and 4) reporting. In the first phase of the study, the security of networked devices on a test bed was assessed. Later on, the results were applied for determining vulnerabilities of the system of Supervisory Control and Data Acquisition of the study case. As result, the existence of vulnerabilities commonly dismissed was

corroborated. The study shows the importance of the updating and the correct configuration of the *BIOS* of industrial networked devices in order to safeguard the industrial system from possible cyber-attacks.

Keywords: Supervisory control and data acquisition; industrial control devices; ethical hacking; security, cyber-attack.

1. Introducción

Las vulnerabilidades en el área industrial han ido en aumento (Nicholson et al., 2019) (Sándor et al., 2019). Desde el año 2000 hasta el año 2018 se han detectado más de 1552 vulnerabilidades públicamente divulgadas (Nurcan & Gönen, 2018) y los ataques cibernéticos sobre estos sistemas se han incrementado en 3.5 % en el primer semestre del 2018 en relación con el segundo semestre del 2017 (Ghaleb, 2018).

La gestión de la seguridad informática industrial estabiliza el funcionamiento de los sistemas industriales (DeSmith et al., 2016) (Alves & Morris, 2018a) y tiene impacto en el sistema desde el punto de vista socio - económico (Jansen, 2017) (Alves & Morris, 2018a) (Robles, 2019). El reto está en que los fabricantes no hacen disponible la información del hardware y el *firmware* de sus dispositivos, dificultando así la investigación en seguridad informática de los PLCs (Alves & Morris, 2019) (Robles, 2019).

En Ecuador, los ataques contra la seguridad de la información han aumentado exponencialmente (Astudillo, 2019), encontrándose, según Kaspersky (2019), entre el TOP 20 de los países que han recibido ataques a computadoras ICS. Por su parte, Tungurahua es una provincia altamente industrializada y cuenta con una gran variedad de procesos automatizados (Gobernación Tungurahua, 2016). De los PLCs utilizados, se reporta que la serie Siemens S7-1200 es la más utilizada. De ahí la importancia de llevar a cabo un análisis a profundidad del nivel de seguridad que estos dispositivos ofrecen.

El objetivo del presente trabajo fue implementar un banco de pruebas para realizar una auditoría de seguridad en la configuración de dispositivos de control industrial conectados a una red y aplicarlo en la evaluación del nivel de seguridad informática de una empresa industrial de la provincia de Tungurahua. Para ello se tomó, como punto de partida, el trabajo de Jin et al. (2018) y Robles et al. (2019). Este artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe el banco de pruebas implementado. En la sección 3 se describen los resultados obtenidos en un ambiente ICS real y, en la sección 4, se presentan las conclusiones.

2. Descripción del banco de pruebas

La metodología de la auditoría en seguridad informática que fue llevada a cabo manejó las etapas ilustradas en la figura 1, basada en el sistema clásico de proceso de hacking ético para el análisis de Sistemas de Control Industrial (SCI), al que hace referencia Jin et al (2018).

La implementación de un laboratorio de pruebas, sobre dispositivos de control industrial omiten la fase de Alcance y descubrimiento debido a que no se realiza momentáneamente el estudio sobre una ICS y por ende no se necesita información sobre la misma. El uso

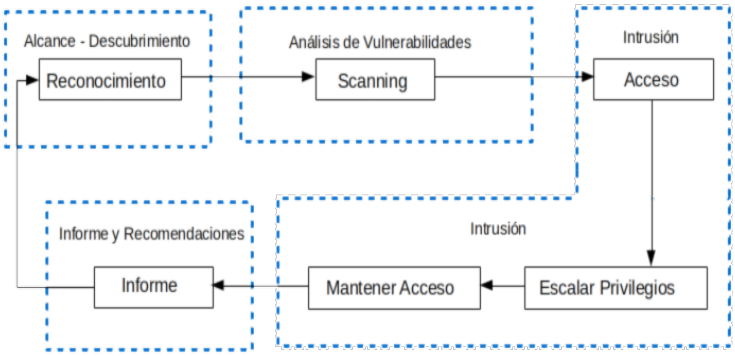


Figura 1 – Diagrama de bloques de fases de hacking ético aplicadas.

de tres etapas de hacking ético: fase de análisis de vulnerabilidades, fase de intrusión, fase de informes y recomendaciones, fue la base de estudio para la verificación de las debilidades sobre los módulos. Los análisis se realizaron bajo el esquema de red detallado en la figura 2.

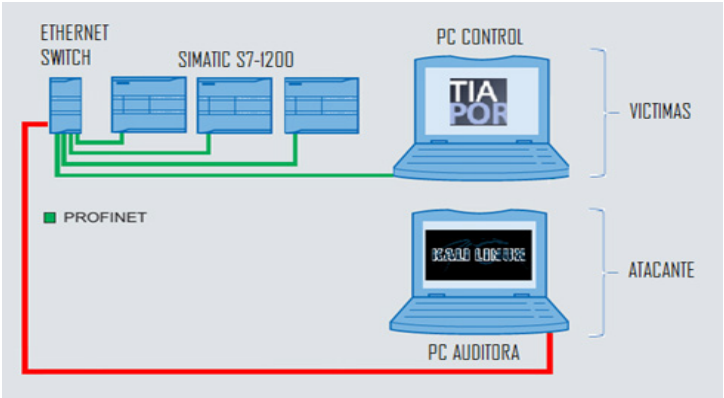


Figura 2 – Red simple de PLCs

La red de PLCs simple está formada por:

- PC con Sistema Operativo Auditor Kali Linux.
- PLC S7-1200 Siemens CPU 1212c AC/DC/RLY 212-1BD30-0XB0.
- PLC S7-1200 Siemens CPU 1212C AC/DC/RLY 212-1BE31-0XB0.
- PLC S7-1200 Siemens CPU 1214C AC/DC/RLY 214-1BG31-0XB0.
- Ethernet *switch* Siemens.

2.1. Fase de Análisis de Vulnerabilidades

En esta fase de análisis se recopiló información de las posibles vulnerabilidades existentes por medio de las herramientas *CERTSI* e *ICS-CERT*. Utilizando estas herramientas se

buscó alertas publicadas por los grupos de seguridad de ICS, identificando así debilidades que ponen en riesgo la gestión de los dispositivos de control industrial.

Posteriormente, se procedió a llevar a cabo un análisis de puertos abiertos sobre los dispositivos Siemens s7-1200. Este proceso se llevó a cabo con la herramienta *Sparta* disponible en *Kali Linux*.

Como resultado, se comprobó que los puertos 80 HTTP, 102 UDP ISO-TSAP y 161 UDP SNMP se encuentran abiertos por defecto en los PLC 1212C AC/DC/RLY 6ES7212-1BE31-0XB0 y 1214C AC/DC/RLY 6ES7214-1BG31-0XB0. Para el caso del PLC 1212C AC/DC/RLY 6ES7212-1BD30-0XB0 ocurre lo mismo con excepción del puerto 80 HTTP.

2.2. Fase de Intrusión

Conocidas estas vulnerabilidades, se procedió a utilizar herramientas que permiten explotarlas en función de lograr el control de los dispositivos. Se utilizó *Metasploit Community*, herramienta open source para ejecución de *exploits* en dispositivos remotos, resultando efectivo para los *exploits* 19833 y 38964, los que se detallan en la tabla 1.

Utilizando *Snap7* se implementaron códigos de lectura y escritura sobre la memoria del PLC familia Siemens, utilizándolo como un ataque remoto para el control y monitoreo manual de un PLC. Para ello se implementó una aplicación en Python que utilizó la biblioteca *Snap7*, teniendo en cuenta el análisis de vulnerabilidades de los PLC a nivel de código de Serhane et al. (2018). Detallado en la tabla 2, resultó que los registros del PLC pudieron ser leídos en todos los casos, independientemente de que el PLC tuviera contraseña o no.

Exploit	**PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BD30-0XB0 IP= 192.168.0.2**	**PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BE31-0XB0 IP= 192.168.0.62**	**PLC 1214c AC/DC/RLY 6ES7214-1BG31-0XB0 IP= 192.168.0.1**
EXPLOIT 19831	X	X	X
EXPLOIT 19832	X	X	X
EXPLOIT 19833	√	X	X
EXPLOIT 38964	X	√	√

Tabla 1 – Análisis del éxito de ataques sobre PLCs Siemens.

Lectura de Memoria de PLC			
PLC	**Lectura sobre entradas y salidas digitales de PLC. LEER_IN_OUT_PLC.py**	**Lectura de Marcas sobre la memoria de PLC. LEER_MK_PLC.py**	**Lectura Base de Datos sobre la memoria de PLC. LEER_DB _PLC.py**
I	√	√	√
II	√	√	√
III	√	√	√

I - PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BD30-0XB0. **II -** PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BE31-0XB0. **III -** PLC 1214c AC/DC/RLY 6ES7214-1BG31-0XB0

Tabla 2 – Lectura de Memoria de PLC.

En la tabla 3 se detallan los resultados de la escritura remota sobre registros del PLC, con lo que queda demostrada la factibilidad de llevar a cabo la escritura (y sobreescritura) de salidas digitales, lo que permite un control potencial del funcionamiento del dispositivo.

PLC	Escritura sobre salidas digitales. ESCRIBIR_OUT_PLC.py	Escritura en marcas sobre memoria. ESCRIBIR_MK_PLC.py
I	√	X
II	√	X
III	√	X

I - PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BD30-0XB0. **II -** PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BE31-0XB0. **III -** PLC 1214c AC/DC/RLY 6ES7214-1BG31-0XB0

Tabla 3 – Lectura de Memoria en PLC, Inyección de código sobre red de PLCs.

En la figura 3 se detallan los resultados de ejecución de exploit 38964 y lectura remota sobre registros del PLC, demostrando la factibilidad de llevar a cabo la modificación del funcionamiento de la CPU del Dispositivo industrial, lo que permite un control potencial sobre módulo.

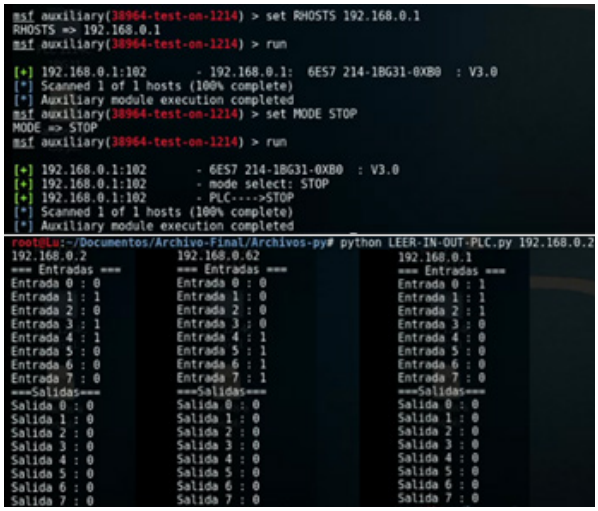


Figura 3 – Lectura de Entradas-salidas digitales y Ejecución Exploit 38964 en CPU 1214c AC/DC/RLY 212 1BG31-0XB0.

El desarrollo de una interfaz en *Python* por medio de *Qt Designer* permitió la integración de herramientas de escaneo y de explotación de vulnerabilidades que, normalmente, se utilizan de forma aislada. Esta interfaz constituye un aporte del presente trabajo, por cuanto facilidad la labor de hacking ético de sistemas industriales. Utilizándola, se llevó

a cabo la auditoría de seguridad informática semiautomática sobre los PLCs de la familia Siemens S7-1200 en la industria caso de estudio. En la figura 4 se muestra el diseño de la interfaz desarrollada.

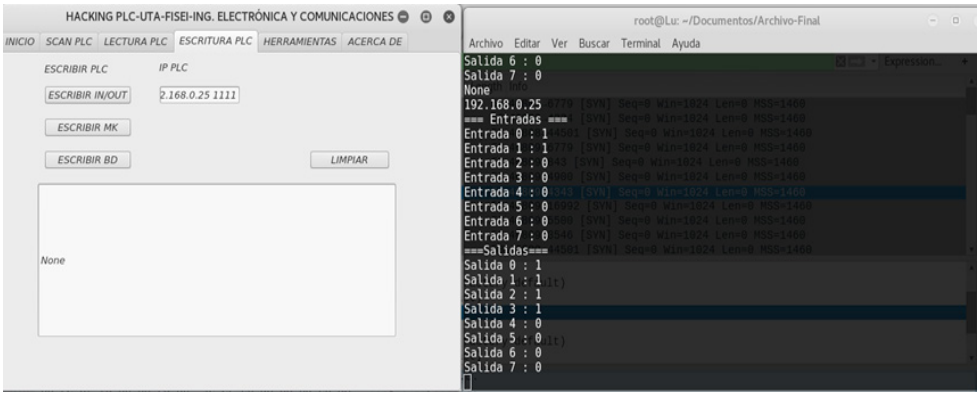


Figura 4 – Escritura de PLC en interfaz utilizando la herramienta construida.

2.3. Fase de informes

Los PLCs de la familia Siemens S7-1200, en sus modelos PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BD30-0XB0, PLC 1212c AC/DC/RLY 6ES7212-1BE31-0XB0 y PLC 1214c AC/DC/RLY 6ES7214-1BG31-0XB0, en su configuración por defecto, son vulnerables cuando estos se encuentran conectados a una red industrial. Con el estudio llevado a cabo se demostró que es posible hacerse del control de estos equipos e intervenir en el proceso de control industrial en el que participan. De hecho, en los experimentos realizados se logró detener e iniciar al PLC, además de hacer que entre en estado de error a través de acciones de lectura y escritura de salidas digitales. El estudio de caso llevado a cabo permite afirmar que la ausencia de un firewall interno en el dispositivo permite el éxito de *exploits* de inyección de código y de *sniffing*. Como alternativa de solución se propuso el uso de un filtro inteligente de comportamiento para la red SCADA del tipo propuesto por Corbò et al. (2017).

3. Validación de resultados en un Ambiente ICS Real

La auditoría de seguridad informática se realizó en una empresa pública con ICS de la ciudad de Ambato, provincia Tungurahua, con el objetivo de verificar la seguridad y configuración de los dispositivos de control industrial. En la empresa auditada se ejecutó un hacking ético de tipo caja gris (interno y externo).

3.1. Fase de Alcance y Descubrimiento

Se realizaron búsquedas en Internet con las herramientas *ZoomEye* y *Shodan* sobre la infraestructura crítica auditada y no se encontró información del sistema. Consecuentemente se realizó, dentro de la empresa, un estudio visual y social, conociendo

que la empresa maneja su conexión de Sistema SCADA de manera individual a la red corporativa, el equipamiento de PLCs utilizados son de la marca Mitsubishi y Siemens y las antenas Mikrotik son las utilizadas para la comunicación entre las estaciones.

La aplicación de ingeniería social ayudó en la obtención de información confidencial (red corporativa y red ICS) de la empresa, tal como: informes, reportes de actividades y planos. En la revisión de información se obtuvieron direcciones IP del área corporativa e industrial y el modelo de los dispositivos PLC S7-1200 y S7-300 Siemens, FX3G Mitsubishi y de las antenas Mikrotik.

3.2. Fase de análisis de vulnerabilidades

El conjunto de pruebas de laboratorio antes realizadas, brinda información de vulnerabilidades de manera individual sobre los dispositivos Siemens. Alert ICS-CERT (ICSA-15-146-01) reporta que el CPU FX3G-24MR-ES, del PLC Mitsubishi, es vulnerable a ataques de Denegación de Servicios (DoS), resultando en la pérdida de control de proceso de un sistema. Dicha fuente aclara que, para su recuperación, es necesario reiniciar el dispositivo.

Una vez recopilada la Información necesaria de los dispositivos de control industrial que maneja la empresa, se procedió al análisis de vulnerabilidades de la red inalámbrica del ICS, siendo este el único punto de intrusión externa a la empresa. En el análisis de vulnerabilidades sobre la red inalámbrica para la conexión del SCADA, siguiendo la propuesta de Corbò et al. (2017), se tuvieron en cuenta los siguientes pasos: 1) localización, 2) revisión e 3) intrusión en la red inalámbrica utilizando una antena Mikrotik proporcionada por la empresa.

Localización

Se realizó un mapeo con la antena Mikrotik de las redes inalámbricas. A partir de la información obtenida por la ingeniería social realizada, se tenía datos de las características de la red inalámbrica. La red inalámbrica se encontraba configurada a una banda de frecuencia 5GHz con un protocolo Wireless propietario NStream, con un rango de direcciones IP x.x.x.x, que no se divulga aquí por razones de protección de datos.

Como parte del proceso de localización, se configuró una antena Mikrotik, utilizada para evaluar las posibilidades de un ataque a la red, en modo terminal puente. El objetivo fue evaluar si de esta manera, sería posible redireccionar los datos entre una antena punto de acceso y una antena terminal en la empresa caso de estudio.

Revisión

Se llevó a cabo la búsqueda de puntos de acceso (APs), por medio del servicio *scann* brindado por la misma antena; se descubrió la disponibilidad de dos AP, los cuales, para sorpresa del equipo de auditoría, se encontraban como redes inalámbricas abiertas, lo cual extiende el alcance de un ciber-ataque, tal y como demostró Rodofile et al. (2019).

Intrusión

Winbox fue utilizado para observar la red inalámbrica obtener dirección IP, MAC, e identidad de la antena, tal como se observa en la figura 11. Se logró reconocer dos AP pertenecientes a la Empresa; por confidencialidad de la información, dichos AP se identificaron como: RTE y RW. Se procedió a realizar la conexión a los puntos de acceso, logrando una conexión con la AP RW. Dicho AP se encontraba con la seguridad por defecto del dispositivo; se logró una conexión instantánea y se procedió a realizar un escaneo de dispositivos activos en la red. Detallado en la figura 5.

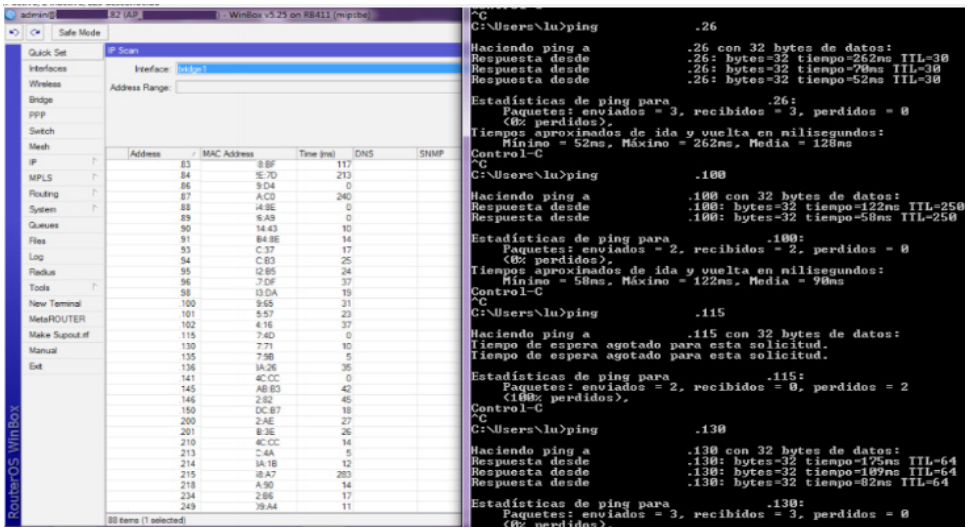


Figura 5 – Intrusión en Red Industrial.

Test de Intrusión de la red Inalámbrica

Se verificó el ingreso a la red inalámbrica, procediendo a acceder a las direcciones IP obtenidas para verificar si contaban con interfaz de configuración web, y pudo comprobarse que las antenas tenían interfaz gráfica de configuración. Por esta razón fue posible el acceso a la red; sin necesidad de un ataque por consola se secuestró un AP pudiendo perjudicar completamente al Sistema SCADA y por ende al ICS.

Por su parte, la herramienta de escaneo de red *Advanced IP Scanner* permitió identificar los dispositivos activos en la red. Con el objetivo de buscar más información, se realizó un escaneo por medio de los servicios de *scan* de la antena. Para las direcciones IP activas encontradas se procedió a verificar si respondían al comando *ping*.

Con Kali Linux, y la herramienta *plcscan.py*, detallado en figura 6, a partir del rango de direcciones IP identificado, se procedió a la búsqueda y reconocimiento de PLCs, con el

objetivo de reconocer a qué direcciones IP correspondían exactamente, qué modelos de módulos manejaban, el firmware y los nombres del PLC. La herramienta *Scada tools* reconoció 3 PLCs siemens: PLC S7-300 módulo (6ES7 313-6CF03-0AB0) y PLC S7-1200 módulo (6ES7 212-1BD30-0XB0).

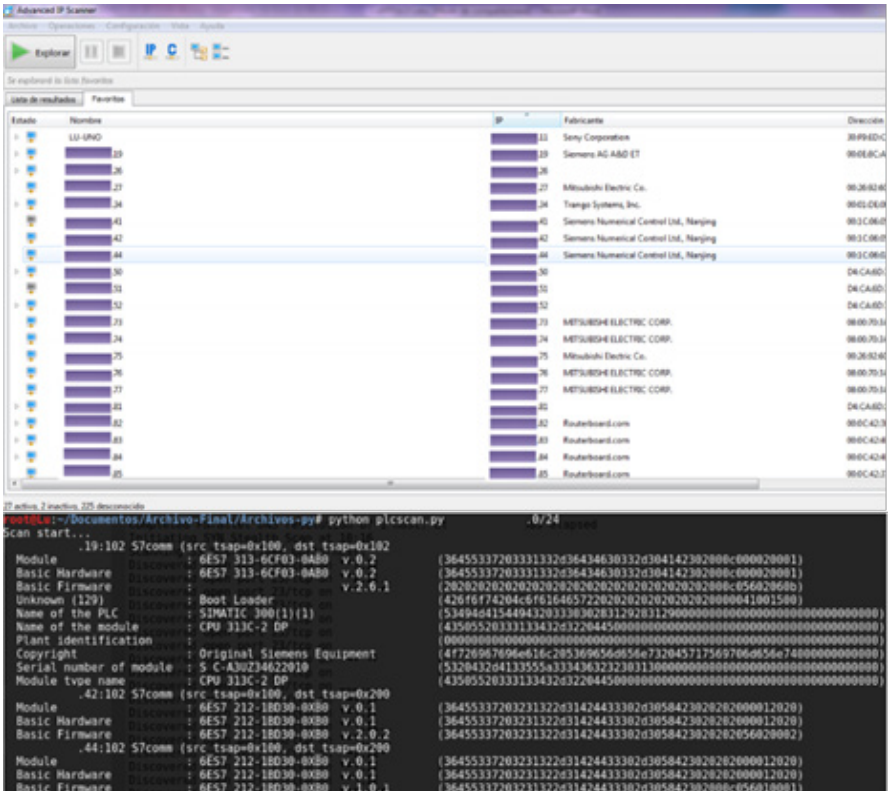


Figura 6 – Búsqueda de dispositivos industriales activos en red industrial.

3.3. Fase de Intrusión

Conocido el tipo de PLCs utilizados, se procedió a intentar explotar vulnerabilidades conocidas haciendo uso de *Metasploit* y *Snap7*. En este caso, a diferencia del estudio experimental previo, no se intentó modificar el registro de variables de cada PLC puesto que estos controlan procesos sensibles en tiempo real que se verían afectados. En la Figura 7 se muestra el resultado exitoso que tuvo el ataque que se llevó a cabo y que tuvo que ver con la lectura de entradas y salidas del PLC. Como resultado, se pudo comprobar que el PLC estaba manejando un proceso industrial activo al contar con las entradas 0 y 3, y salida 0, con valor lógico activo.

Figura 7. Lectura de salidas digitales de PLC siemens en ICS, x.x.x.44

3.4. Fase de Informe y Recomendaciones

Como resultado de esta fase, se presentó un informe detallado a la empresa de cómo se obtuvo información y de en qué condiciones tuvo éxito el ataque llevado a cabo.

4. Conclusiones

El incremento de vulnerabilidades y ataques en ICS están aumentado exponencialmente. El sistema industrial analizado centra su gestión de seguridad en la seguridad industrial dejando de lado la seguridad informática, viéndose comprometida la seguridad de su infraestructura de red. No actualizar el firmware y la configuración de seguridad por defecto de dispositivos de control industrial y no proteger el acceso a la infraestructura de red hace vulnerables a estos dispositivos. Resulta crítico proteger el acceso a los sistemas y garantizar la actualización del *BIOS* de los dispositivos para evitar el éxito de ataques que explotan vulnerabilidades que se hacen públicas con el paso del tiempo.

Agradecimiento

A la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Dirección de Investigación y Desarrollo, por el financiamiento brindado para la publicación de este artículo.

Referencias

Alves, T., & Morris, T. (2018a). OpenPLC: An IEC 61,131–3 compliant open source industrial controller for cyber security research. *Computers & Security,* 78(1), 364-379.

Alves, T., Das, R., & Morris, T. (2018b). Embedding Encryption and Machine Learning Intrusion Prevention Systems on Programmable Logic Controllers. *IEEE Embedded Systems Letters,* 10(3), 99-102.

Astudillo, K. (2019). *Hacking ético 101 ¡cómo convertirse en hacker ético!* (3ra Ed.). Madrid: RA-MA.

Certsi., INCIBE-CERT. (2014), Denegaciones de servicio (DoS), Siemens SIMATIC S7-1200, Recuperado de: https://www.incibe-cert.es/alerta-temprana/avisos-sci/multiples-vulnerabilidades-siemens-simatic-s71200-20140321

Certsi., INCIBE-CERT. (2016), Evasión de protección, SIMATIC S7-1200 Siemens, *Recuperado de: https://www.incibe-cert.es/alerta-temprana/avisos-sci/evasion-proteccion-cpu-simatic-s7-1200-siemens*

Corbò, G., Foglietta, C., Palazzo, C., & Panzieri, S. (2017). Smart behavioural filter for SCADA network. En: Maglaras L., Janicke H., Jones K. *Industrial Networks and Intelligent Systems. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, (pp. 101-110). Leicester, Reino Unido: Springer.

DeSmit, Z., Elhabashy, A, Wells, L., & Camelio, J. (2016). Cyber-physical Vulnerability Assessment in Manufacturing Systems. *Procedia Manufacturing*, 5, 1060-1074.

Ghaleb, A., Zhioua, S., & Almulhem, A. (2018). On PLC network security. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 22, 62-69.

Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, Gobernación de Tungurahua, (2016), *Agenda Tungurahua, Visión Territorial* [Internet], Recuperado de: https://www.tungurahua.gob.ec/images/archivos/transparencia/2017/AgendaTerritorialTungurahua2016.pdf

Ics-Cert., CISA. (2015). *ICS-CERT (ICS-ALERT-11-161-01), Siemens S7-1200 PLC Vulnerabilities, PLC 1212c AC/DC/RLY 212-1BD30-0XB0* [Internet], Recuperado de: https://www.us-cert.gov/ics/alerts/ICS-ALERT-11-161-01

Jansen, Ch. (2017). Stabilizing the Industrial System: Managed Security Services' Contribution to Cyber-Peace. *IFAC-PapersOnLine,* 50 (1), 5155-5160.

Jin, Ch., Valizadeh, S., & van Dijk, M. (2018). Snapshotter: Lightweight intrusion detection and prevention system for industrial control systems. En *Libro de Actas del IEEE Industrial Cyber-Physical Systems,* (pp. 824-829). San Petersburgo, Rusia: IEEE.

Kaspersky Lab ICS CERT. (2019). *Threat landscape for industrial automation systems* [Internet]. Recuperado de: https://ics-cert.kaspersky.com/media/KL_ICS_CERT_H2_2018_REPORT_EN.pdf

Nicholson, S. (2019). How ethical hacking can protect organisations from a greater threat. *Computer Fraud & Security,* 2019(5), 15-19.

Nurcan, E.,Gönen, S. (2018). Attack detection/prevention system against cyber attack in industrial control systems. *Computers & Security,* 77, 94-105.

Robles, A., Moradpoor, N., McWhinnie, J., Gordon, R., & Maneru-Marin, I. (2019). PLC Memory Attack Detection and Response in a Clean Water Supply System. *International Journal of Critical Infrastructure Protection, 26, 100300.*

Rodofile, N. , Radke, K., & Foo, E. (2019). Extending the cyber-attack landscape for SCADA-based critical infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, *25, Junio 2019*, pp. 14-35.

Sándor, H., Genge, B., Szántó, Z., Márton, L., & Haller, P. (2019). Cyber attack detection and mitigation: software defined survivable industrial control systems. En *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 25, 152-168.

Serhane, A., Raad, M., Raad, R., & Susilo, W. (2018). PLC Code-Level Vulnerabilities. En *International Conference on Computer and Applications, ICCA,* pp. 348-352.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 19/05/2019
Aceitação/Acceptance: 04/07/2019

Análisis de tráfico del servicio de Videostreaming sobre una red WiFi

Wilmar Yesid Campo Muñoz[1], Nicolás López Quintero[1], Gabriel Elías Chanchí G.[2]

wycampo@uniquindio.edu.co, nlopezq@uqvirtual.edu.co, gchanchig@unicartagena.edu.co

[1] Universidad del Quindío, Cra. 15 Cll 12 norte, 630004, Armenia, Colombia.

[2] Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, Cll 30 No. 48 - 152, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

Pages: 314–326

Resumen: El videostreaming es el mayor generador de tráfico en Internet, además, los proveedores ofrecen cada día contenidos de mayor calidad, provocando un incremento en el consumo de ancho de banda. Por otra parte, las redes WiFi son las encargadas de soportar este servicio hasta los hogares, campus universitarios y oficinas. Por tanto, este artículo propone un escenario simulado a partir de la caracterización de un escenario real. En el primero escenario se realiza la caracterización del tráfico mediante la descripción estadística de las trazas de tráfico a través de funciones de densidad de probabilidad FDP. El segundo escenario se implementa en la herramienta ns-3, donde se programa el comportamiento del videostreaming. Finalmente, se incrementa el número de clientes hasta alcanzar la capacidad de canal, tal que, permite encontrar para la red WiFi el número máximo de usuarios simultáneos, capaces de consumir el servicio con definición estándar y alta definición.

Palabras-clave: Grupo de imágenes; ns-3; Tráfico; Videostreaming; WiFi.

Traffic analysis of the Video streaming service on a WiFi network

Abstract: Video streaming is the largest generator of traffic on the Internet, in addition, providers offer every day higher quality content, causing an increase in bandwidth consumption. On the other hand, WiFi networks are responsible for supporting this service in homes, university campuses and offices. Therefore, in this paper we propose a simulated scenario based on the characterization of a real scenario. In the first scenario, the characterization of traffic is carried out by means of the statistical description of the traffic traces through FDP probability density functions. The second scenario is implemented in the ns-3 tool, where videostreaming behavior is programmed. Finally, the number of clients is increased until reaching the channel capacity, such that, it allows to find for the WiFi network the maximum number of simultaneous users, capable of consuming the service with standard definition and high definition.

Keywords: Group of pictures; ns-3; traffic, video streaming, WiFi.

1. Introducción

De acuerdo con (Ericsson, 2018) más del 60% del tráfico en la red, corresponde a contenidos de videostreaming cuyo consumo por parte del usuario se realiza en gran medida a través de redes de área local inalámbricas WLAN (por sus siglas en inglés) mediante tecnología WiFi. Este tipo de redes brinda acceso móvil de banda ancha a Internet a un costo muy asequible bajo la modalidad de tarifas planas, a diferencia de las redes celulares donde se factura de acuerdo con un plan de datos. Lo anterior ha propiciado la expansión de la tecnología WiFi de manera masiva, en entornos académicos, de oficina y el hogar. Además, las bandas de frecuencia de 2,4 y 5 GHz utilizadas por WiFi están clasificadas como de uso común compartido permitiendo que diversos operadores o usuarios puedan utilizar de forma simultánea estas frecuencias. El hecho de que no sea necesario disponer de licencia para operar no implica que la utilización de esta banda no esté sujeta a condiciones específicas (Adib, & Katabi, 2013).

Por otra parte, a nivel de infraestructura de red, el inconveniente principal de los servicios soportados por el videostreaming, es el elevado consumo de recursos necesarios para su transmisión. La evolución tecnológica ha permitido el incremento del ancho de banda de las tecnologías utilizadas para la transmisión, así como de los recursos disponibles. Sin embargo, este incremento también sucede en la parte de los usuarios debido a la alta acogida del videostreaming gracias a plataformas como YouTube y las redes sociales. Además, los proveedores ofrecen cada día contenidos de mayor calidad, provocando un incremento en el consumo de ancho de banda el cual debe ser soportado por las redes desplegadas a nivel de área local como son las redes WiFi.

Así, es de interés conocer cuál es la capacidad en número de usuarios que consumen el servicio de video bajo demanda en una red WiFi. En este artículo se presenta el proceso de caracterización del tráfico de video bajo demanda, partiendo de la selección del servidor y puesta en funcionamiento de un escenario básico tomando como caso de estudio una red WiFi IEEE 802.11 b real, se escoge este estándar ya que su tasa de transferencia teórica es de 11 Mbps, por lo que es posible saturarla a nivel de laboratorio con un menor número de usuarios respecto a otras normas del orden de las centenas de Mbps, siendo por supuesto, los resultados obtenidos extrapolables a otros estándares. En el escenario básico se capturan las trazas de tráfico con el objeto de encontrar las funciones de densidad de probabilidad FDP que describen su comportamiento. También se presenta el proceso de construcción de un entorno simulado mediante la herramienta de investigación ns-3 seleccionada por ser de código libre y permitir la programación de las FDP. A partir de la simulación se validan los resultados y es posible incrementar el número de usuarios hasta alcanzar las cotas de la red.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma, en la sección 2 se presenta la metodología usada para el desarrollo de la investigación, en la sección 3 se presentan los conceptos fundamentales involucrados a lo largo del artículo, en la sección 4 se muestra el proceso de construcción de los escenarios real y simulado, en la sección 5 se expone los resultados y su respectivo análisis donde se incluye el proceso de caracterización del tráfico, la validación y el aumento de usuarios, finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones del trabajo.

2. Metodología

En la figura 1, se muestra el diagrama funcional utilizado para la metodología. Se parte de la construcción del escenario básico bajo una arquitectura cliente servidor cuya infraestructura de red la brinda una WLAN 802.11b. A partir del escenario básico, se procede a la caracterización del tráfico mediante la captura, filtrado y extracción de las tramas denominadas imágenes de audio y video. Estas tramas son procesadas para separar, las componentes del video de las componentes del audio y así poder encontrar las FDP que describen su comportamiento. Ya con las FDP el siguiente paso es la simulación y validación, con el fin de extrapolar el comportamiento y poder así extraer resultados con un mayor número de usuarios.

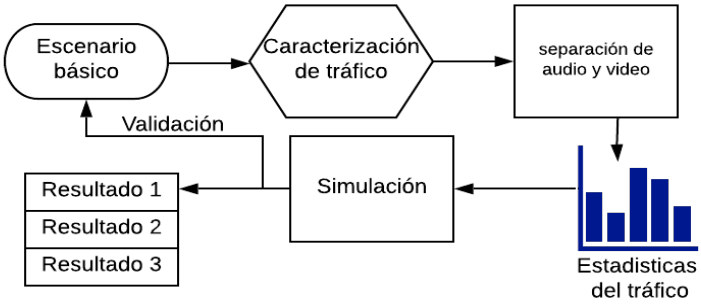


Figura 1 – Diagrama funcional para el análisis de tráfico del servicio de videostreaming sobre una red WiFi

3. Marco conceptual

En esta sección se presentan los conceptos fundamentales para el desarrollo de este artículo como son: redes WiFi, Live555, VLC y MPEG-4.

3.1. Redes WiFi

El estándar que define las denominadas redes WiFi es el IEEE 802.11 correspondiente a una tecnología inalámbrica de redes de datos para áreas locales, la cual trabaja en las bandas; industrial científica y medica ISM (por sus siglas en inglés) e infraestructura nacional de información no licenciada U-NII (por sus siglas en inglés), esto es, en las frecuencias 2,4 y 5 GHz respectivamente. El primer estándar de comunicaciones de redes de área local inalámbricas IEEE 802.11 fue generado en el año 1997 por El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica IEEE (por sus siglas en ingles), el cual se basó en el uso de los dos primeros niveles del modelo de interconexión de sistemas abiertos OSI (por sus siglas en ingles). Varios organismos han trabajado en la estandarización de reglamentación y normativas. En Estados Unidos de América el WiFi y sus variantes (a, b, c, d, e, f , g etc.) está a cargo de la IEEE, mientras que en Europa es el Instituto europeo de normas de telecomunicaciones ETSI (por sus siglas en inglés) (Carballar, 2010). Actualmente WiFi-Alliance es la organización sin ánimo de lucro que suscita y certifica todos los productos que usan el protocolo WiFi para que se ajusten a los requerimientos mínimos de interoperabilidad. Así,

por ejemplo, establecen los límites sobre la potencia de radiación, el ancho de banda de los canales, los tipos de acceso y los protocolos de comunicaciones que se pueden utilizar, con el fin de garantizar el uso común de estas frecuencias del espectro radioeléctrico.

3.2. Videostreaming

El streaming es un método para entregar contenido de video y/o audio a través de una red de computadores como Internet (Agudelo, Campo, Ruíz, Arciniegas, & Giraldo, 2017). La entrega de video vía streaming es una solución de los problemas asociados con la descarga de archivos, donde el contenido se divide en partes, las cuales son transmitidas y ensambladas en su destino para ser reproducidas sin necesidad de esperar por la totalidad de las partes. El videostreaming no necesita gran capacidad de almacenamiento, ya que una pequeña parte de la multimedia es almacenada temporalmente por el cliente en un búfer mientras es reproducida (Austerberry, 2005)-

3.3. Servidor Live555 y cliente VLC

Live555 Media Server es un entorno de desarrollo multiplataforma utilizado por varios sistemas de reproducción multimedia, en el cual se puede tener acceso a una fuente mediante el protocolo de streaming en tiempo real RTSP (por sus siglas en ingles) y codificarla en diferentes formatos según las necesidades. Este servidor soporta formatos de video y audio con extensiones como 264, 265, aac, ac3, amr, dv, m4e, mkv, mp3, mpg, ogg, ts. Además, está diseñado de tal forma que se puede ampliar fácilmente para que admita más formatos (Vun & Ansary, 2010).

VLC (VideoLAN Client) es un reproductor multimedia libre de código abierto multiplataforma que trabaja simultáneamente como un framework. Es un reproductor de audio y video distribuido bajo la licencia Videolan. Este reproductor fue desarrollado en 1996 para ofrecer un sencillo servicio de cliente y servidor que transmitía videos en primera instancia. Fue desarrollado inicialmente por estudiantes del École Centrale Paris y ahora es desarrollado por la colaboración de programadores sin ánimo de lucro alrededor del mundo (Mishra & Kanso, 2012).

3.4. MPEG-4

El grupo de expertos de imágenes en movimiento MPEG (por sus siglas en inglés) define MPEG-4 como un método para la compresión de los datos digitales de audio y visuales. MPEG-4 presenta una eficiente compresión para el almacenamiento y la transmisión de datos audiovisuales respetando calidad de video y audio. MPEG-4 video esta optimizado para una gran variedad de redes y sistemas de comunicación. Así, puede soportar diferentes modos: menos de 64 Kbps (conexiones muy lentas), de 64 a 384 Kbs (conexiones intermedias) y de 384 a 4 Mbps (conexiones rápidas). Permite la codificación y compresión de objetos individuales como 2D y 3D, y textos y gráficas (Richardson & Richardson, 2010).

Por su parte H.264 o MPEG-4 AVC (codificación de video avanzado por sus siglas en inglés) es la parte 10 de MPEG-4 dedicada a la compresión eficiente del video. Fue desarrollado y es mantenido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T

(por sus siglas en inglés) por el grupo de expertos en codificación de video VCEG (por sus siglas en inglés) con el ISO/IEC JTC1 MPEG (Kalampogia & Koutsakis, 2018).

4. Escenarios de experimentación

A continuación, se presentan la construcción del escenario real, desde donde se extraen las trazas de tráfico, y del escenario simulado donde se programan las FDP que representan el comportamiento estadístico del tráfico real.

4.1. Escenario real

En la figura 2, se presenta el escenario real de experimentación para un servicio de videostreaming soportado sobre una red WiFi. La primera etapa de la figura 2 contiene los videos sin codificar o videos en crudo, los cuales son codificados a través de la herramienta FFmpeg y son emitidos mediante el Live555 Media Server. Respecto a la segunda etapa, para la red se utilizan equipos Ubiquiti PowerStation 2, los cuales corresponden a dos antenas con sus respectivos radios WiFi IEEE802.11b, interconectados al servidor y al cliente a través de tecnología Fastethernet. En la tercera etapa, correspondiente a los usuarios finales se utiliza como cliente el reproductor VLC media player. Además, en esta última etapa a través del analizador de protocolos Wireshark, se capturan y filtran las trazas reales del tráfico de audio y video. Posteriormente, mediante la herramienta dfittool de MatLab se realiza el ajuste de distribuciones de probabilidad para encontrar las FDP que representan el comportamiento estadístico del tráfico.

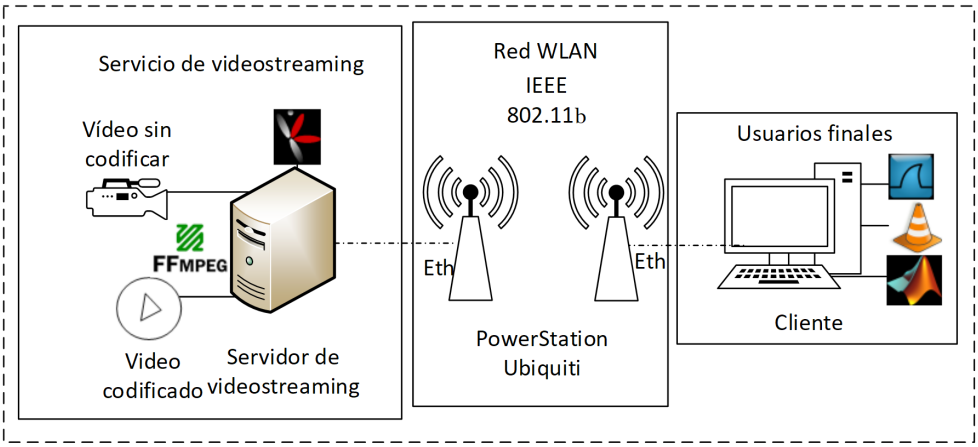


Figura 2 – Escenario real de experimentación

4.2. Construcción del entorno de simulación

Para la construcción del entorno de simulación se escoge la herramienta ns-3 que se enfoca en la investigación y propósitos educativos, la cual hace parte de un proyecto de software libre bajo la licencia GNU GPLv2, que permite a los usuarios crear o modificar

los modelos existentes (Riley & Henderson, 2010). Ns-3 además de ser una herramienta para simulación y emulación, es en sí misma un proyecto de desarrollo de software para la investigación en redes de telecomunicaciones, capaz de soportar las últimas tecnologías y en el cual participan universidades, empresas y grupos de investigación orientados a redes (Riley & Henderson, 2010; Campo-Muñoz, Astaiza-Hoyos, & Muñoz-Sanabria, 2017).

La construcción de un escenario de red en ns-3 parte de un nodo, considerado el dispositivo básico sobre el que se adicionan las características de las redes. Las aplicaciones de ns-3 se definen como un programa de usuario en un nodo que genera alguna actividad a ser simulada. En este artículo se usó la clase *Application* para componer los servicios cliente y servidor que permiten generar el flujo de paquetes en la red. Los nodos se conectan a objetos que simulan el canal de comunicaciones; la clase *Channel* tiene los métodos para el manejo de subredes de comunicación y conecta los nodos a estas (Campo-Muñoz et al., 2017). Las clases básicas que controlan el canal son *CsmaChannel, PointToPointChannel* y *WifiChannel*.

En ns-3 el dispositivo de red cubre el software controlador y el hardware simulado. Para que los nodos se puedan comunicar entre sí a través de los canales, es necesario instalar a cada uno de ellos un dispositivo de red. Los dispositivos de red están representados en la clase *NetDevice*.

Primeramente, se deben ingresar las librerías que enlazan todas las funciones de ns-3 para una red WiFi. Los nodos de ns-3 son los elementos en los que se instalaran los protocolos, aplicaciones y tarjetas de red simuladas para la tecnología 802.11b. Mediante la clase *NodeContainer* se administra la creación y acceso a los nodos.

A continuación, se conectan los nodos en una red para lo que es necesario definir el modelo de canal y la configuración de la capa física. Ns-3 basa sus simulaciones en el modelo yans (Yet Another Network Simulator). El canal tiene un retraso de propagación dado por el inverso de la velocidad de la luz y pérdidas de propagación dadas por el modelo de distancia logarítmico. Para asegurarse que todos los objetos creados en la capa física comparten el mismo medio y por ende pueden comunicarse entre sí, el objeto con la configuración del canal debe asociarse al objeto de la capa física.

Posteriormente se configura el control de acceso al medio MAC (por sus siglas en inglés) junto con el algoritmo de control de tasas AARF (por sus siglas en inglés). Para la infraestructura de red se crea un identificador del conjunto de servicios SSID (por sus siglas en inglés) definido en ns-3 como MAC WiFi estándar (StaWifiMac).

Tanto la capa física como la MAC se instalan en los nodos creados, para asociarlos con las configuraciones de red, de esta forma se consigue tener los dispositivos de red que comparten los atributos a nivel físico. En esta instancia ya es posible ejecutar wifi.Install donde se tiene dos nodos, cada uno con una tarjeta de red inalámbrica un punto de acceso con su respectiva tarjeta de red y un canal de comunicaciones inalámbrico entre ellos, pero hace falta instalar el protocolo de internet IP en los nodos.

Los dispositivos en los nodos requieren de direcciones IP. Ns-3 brinda la clase *Ipv4AddressHelper,* en los nodos generados se inserta la dirección de red (10.1.1.0) y su máscara (255.255.255.0), las direcciones asignadas empiezan por defecto en uno y

se incrementan consecutivamente; de este modo a los dos nodos de la red se les asignan las direcciones privadas 10.1.1.1 y 10.1.1.2, al punto de acceso se le asigna la dirección 10.1.1.3.

En este punto ya se tiene construida una red WiFi con protocolos instalados y direcciones IP asignadas. Para generar tráfico se requiere instalar aplicaciones en los nodos. Ns-3 maneja una abstracción llamada *Application,* para esta topología se utilizan dos aplicaciones especializadas, *UdpEchoServerApplication* y *UdpEchoClientApplication*.

En la figura 3, se observa secciones del código donde se muestra el número de nodos, el modelo de canal, el algoritmo de control a nivel MAC, la tarjeta de red unida al nodo y la pila de protocolos IP

```
nodes.Create (2);                                   → Número de nodos creados
nodoAP.Create(1);

YansWifiChannelHelper channel = YansWifiChannelHelper::Default ();
YansWifiPhyHelper phy = YansWifiPhyHelper::Default ();  → Modelo de canal

WifiHelper wifi = WifiHelper::Default ();
wifi.SetRemoteStationManager ("ns3::AarfWifiManager");  → Algoritmo de control
                                                          a nivel MAC
mac.SetType("ns3::ApWifiMac", "Ssid", SsidValue(ssid));
NetDeviceContainer dispositivoAP;
dispositivoAP = wifi.Install(phy, mac, nodoAP);  → Tarjeta de red unida al nodo

InternetStackHelper stack;
stack.Install (nodos);          } Pila de protocolos IP
stack.Install (nodoAP);
```

Figura 3 – Parte del código de la red WiFi simulada en ns-3

Hecho esto, se procede a ejecutar la red programada con el compilador waf desde la terminal de Linux. De esta forma queda construido el entorno de simulación.

5. Resultados y análisis

Una vez desplegado el servicio de videostreming en el escenario de experimentación real se inicia el proceso de caracterización del tráfico, el cual consiste en la captura de las trazas de tráfico a través del analizador de protocolos Wireshark. Una vez capturado el tráfico, es necesario encontrar las tramas de audio y el grupo de imágenes GOP (por sus siglas en inglés) que compone el video, esto es, imágenes tipo I, P y B (Kalampogia & Koutsakis, 2018).

5.1. Caracterización del tráfico

En la figura 4, se observan los filtros utilizados para obtener el video bajo el códec h.264 y el audio bajo el códec MPEG-I/II. A partir de la figura 4, se puede observar mediante el filtro *h264* que el throughput promedio para el video en general es del orden de los 800 kbps. Mediante el filtro *rtp.p_type==14* se observa el tráfico de audio cuyo valor es aproximadamente uniforme durante toda la transmisión con un valor de 125 kbps.

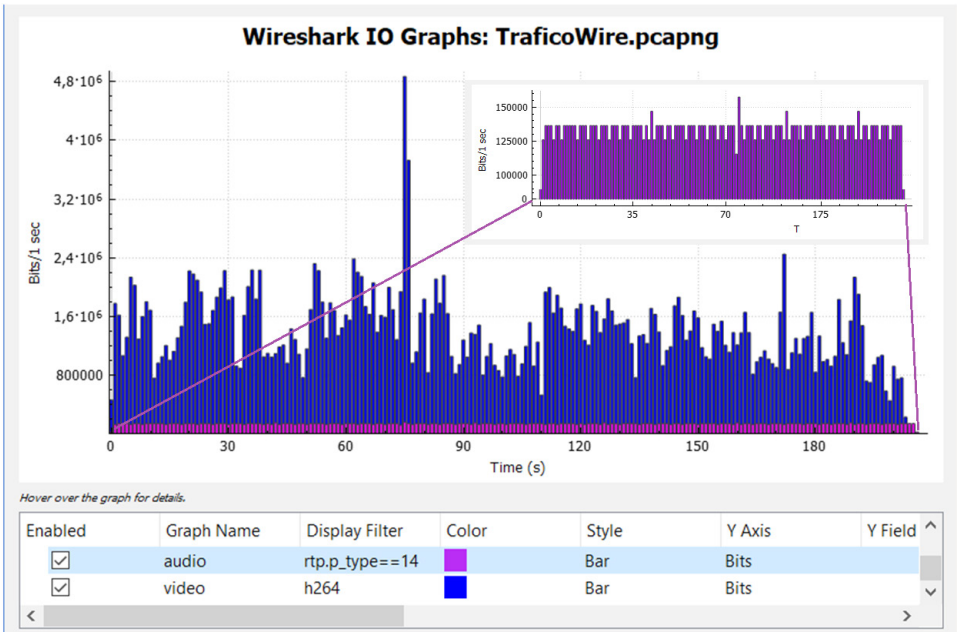


Figura 4 – Tráfico de video y audio

En la figura 5 mediante Wireshark se observa que se utilizó el protocolo Ethernet II en la capa de enlace, IPv4 en la capa de red, el protocolo de datagramas de usuario UDP (por sus siglas en ingles) en la capa de transporte y el protocolo RTSP en la capa de aplicación. Estos datos en la capa de aplicación se decodifican para el video con el códec h.264 que tiene tres pestañas: *Fu identifier*, *Fu Header* y *H264 NAL Unit Payload*. La pestaña FU identificador es la encargada del control informa si hay o no errores, en este caso no hay ningún error, la pestaña de FU Header proporciona información del tipo de inicio y por último se tiene el H264, que solo se encentra en el primer paquete, proporcionando la información del tipo de trama que para este caso es una imagen tipo I (I slice en la figura 5). Esta información es extraída desde Wireshark y almacenada como archivos independientes por cada tipo de imagen para su posterior caracterización.

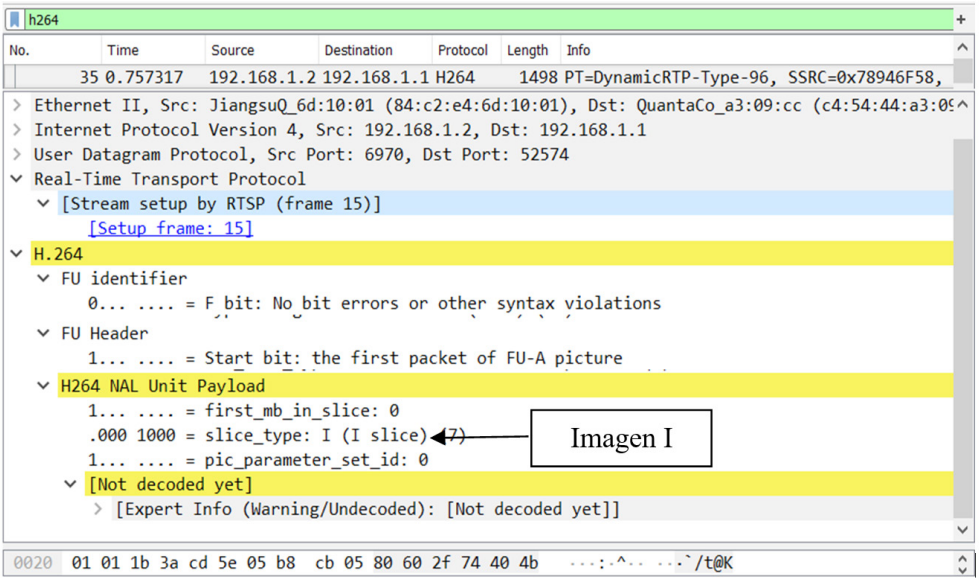


Figura 5 – Identificación del tipo de imagen

En la figura 6 se presenta el archivo para las tramas tipo I, extraído desde Wireshark mediante el proceso presentado en (Campo Muñoz, Bermudez, & Astaiza Hoyos, 2018) el cual tiene 4 columnas para las imágenes I. La primera columna indica el tipo de imagen, la segunda columna presenta el tiempo de llegada al cliente de cada una de las imágenes que componen el GOP, la tercera columna presenta el tamaño de las imágenes y la última columna presenta el tiempo entre imágenes.

Archivo: Tramas.txt

Tipo de imagen	Tiempo de llegada	Tamaño (Bytes)	Tiempo entre imagenes I
I-Slice	32.664882	812	0
I-Slice	35.906784	10267	3.2419
I-Slice	37.781610	35440	1.87483
I-Slice	39.372873	32607	1.59126
I-Slice	41.906119	39308	2.53325

Valores extraidos directamente desde Wireshark

Valores calculados, Wireshark no los entrega directamente

Figura 6 – Archivo que contiene las imágenes tipo I

5.2. Caracterización del GOP mediante FDP

Para encontrar las funciones de densidad de probabilidad tanto para el tamaño de las imagines como el tiempo entre ellas se utiliza la herramienta dfittool de MatLab. Para escoger la mejor FDP se tuvo en cuenta el valor de *Log likelihood*, entre mayor es este valor la FDP tiene mayor similitud con los datos. En la figura 7 se observa el histograma para el tamaño de las imágenes tipo I y la FDP que la caracteriza.

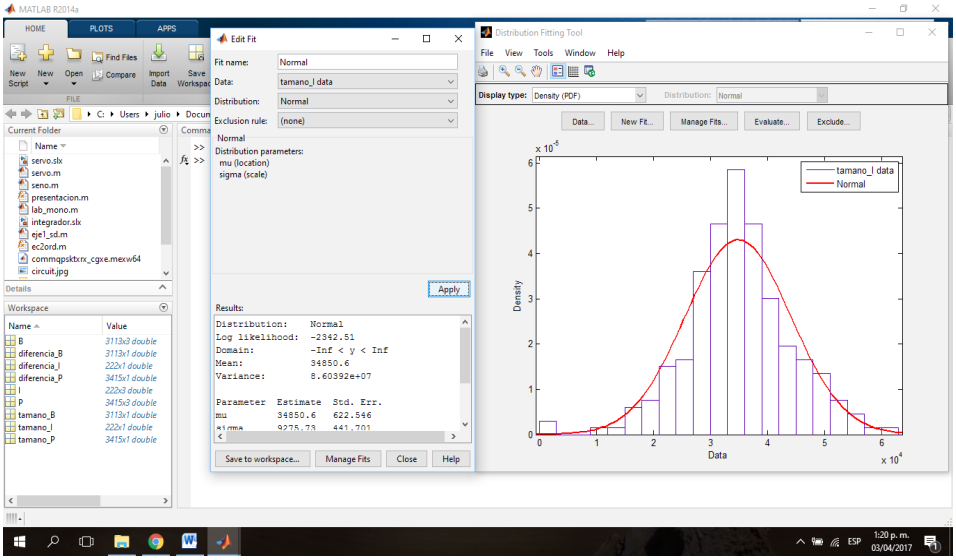


Figura 7 – Distribución normal aplicada a los datos del tamaño de las imágenes I

En la tabla 1 se observa la descripción estadística compuesta por los tamaños y tiempos de un video para calidad bajo definición estándar SD (por sus siglas en inglés) y alta definición HD (por sus siglas en inglés); estas FDP describen, de forma estadística, el comportamiento de un video.

Las FDP son programadas en la herramienta de simulación ns-3 sobre el escenario de simulación de la red WiFi. para esto se utiliza la función *ns3::EmpiricalRandomVariable* que toma pares ordenados de la función de distribución acumulada CDF (por su siglas en inglés) como parámetros de entrada; los pares ordenados son: el valor de la función FDP y la probabilidad de que la función sea menor o igual a este valor. Para la simulación se utilizan valores de la CDF que pertenecen a las distribuciones de los tamaños de cada imagen, por lo que los RNG generan un número que corresponde al tamaño de la imagen. En la figura 8 se observa el proceso de validación mediante las CDF de las imágenes simuladas y reales, para el tamaño de las imágenes tipo I.

Tipo de datos	Tipo de imagen	FDP	Parámetro	Valor de parametró
Tamaño de las imágenes, Calidad estandar	I	Normal	Media	34850,6
			varianza	8,60 exp 7
	P	Weibull	Escala	5521,52
			Forma	1,32
	B	Log-Normal	Localización	6,29
			Escala	0,82
Tamaño de las imagenes, alta definición	I	Normal	Media	35818,63
			Varianza	12011,68
	P	Weibull	Escala	6776,84
			Forma	1,72
	B	Weibull	Escala	1182, 28
			Forma	1,48
Audio	Audio	Uniforme	media	105
			Varianza	3675

Tabla 1 – FDP para un video codificado con H.264/AVC

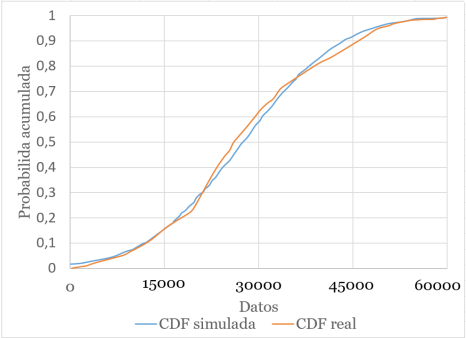
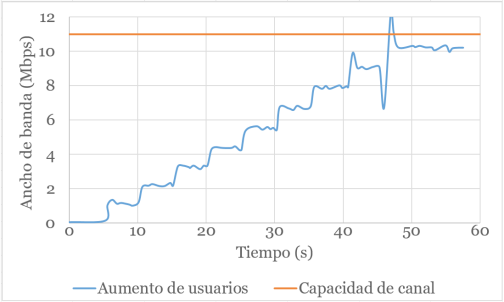


Figura 8 – CDF para el tamaño de la imagines I

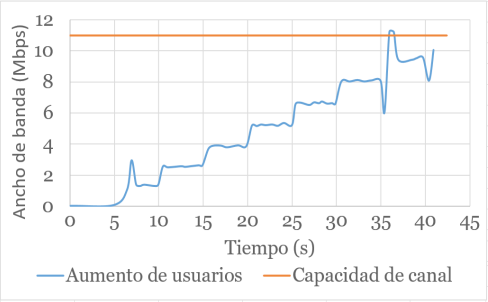
5.3. Aumento de clientes

Para conocer la capacidad de la red WiFi teniendo en cuenta la capacidad del canal de 11 Mbps se aumenta el número de clientes en la red simulada, para esto se aumenta el número de nodos en el código construido para la simulación. Así, se obtuvo que el canal se satura con nueve clientes para la calidad SD (ver figura 9 (a)) y con siete clientes para la calidad HD (ver figura b (b)). En la figura 9 se observa, en forma de escalones, el aumento progresivo de clientes, lo que permite determinar el número máximo de transmisiones

que puede soportar el canal. Para obtener el número máximo de clientes se utiliza el valor estadístico de la moda, este valor corresponde al número que más se repite en el conjunto de datos, de esta forma se obtiene el resultado de nueve usuarios para calidad estándar y siete usuarios para alta definición todo esto bajo el códec H.264/AVC.



a) Definición estándar



b) Alta definición

Figura 9 – Consumo de ancho de banda con aumento de usuarios

6. Conclusiones

En este artículo no se recurre a supuestos en cuanto al comportamiento de tráfico, sino que parte de la construcción de un escenario real donde se despliega el servicio de videostreaming, a partir del cual se muestra el proceso de caracterización del tráfico para la obtención de las funciones de distribución estadística que describen el comportamiento del servicio soportado por una red WiFi 802.11b. Esta descripción estadística es clave para el planeamiento, adaptación, dimensionamiento, planificación e ingeniería de las comunicaciones de una red inalámbrica de área local.

La herramienta de investigación ns-3 permite programar escenarios de red ajustados a la realidad. Ns-3 permite la configuración de los parámetros y elementos que intervienen en la red según sus características o necesidades, además admite programar las funciones de distribución estadística que describen el comportamiento del tráfico, en favor de la construcción de escenarios ajustados a los reales.

Se encontró, en el análisis de los escenarios de simulación, que la implementación del servicio IPTV en una red WLAN 802.11b que el códec H.264/AVC soporta hasta siete y seis clientes para la definición SDTV y HDTV, respectivamente. Sin embargo, estos valores máximos se encuentran en el punto de saturación del canal inalámbrico por lo que se sugiere que el despliegue del servicio IPTV tenga un número menor de clientes.

A partir de las CDF se puede realizar una comprobación o comparación mucho más clara y concisa que con las PDF, ya que esta permite observar el patrón de comportamiento de las distribuciones calculadas, más allá de la variación de los parámetros de la gráfica, permitiendo de esta manera determinar el nivel de similitud estadística entre los valores enfrentados, permitiendo también determinar que el proceso llevado a cabo para obtenerlas fue realizado de manera correcta.

Referencias

Adib, F., Katabi, D., Adib, F., & Katabi, D. (2013). See through walls with WiFi!, See through walls with WiFi! *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *43*(4), 75, 75–86, 86. https://doi.org/10.1145/2486001.2486039, 10.1145/2534169.2486039

Agudelo, P. L., Campo, W. Y., Ruíz, A., Arciniegas, J. L., & Giraldo, W. J. (2017). Architectonic Proposal for the Video Streaming Service Deployment Within the Educational Context (pp. 313–326). *Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66562-7_23

Austerberry, D. (2005). *The technology of video and audio streaming*. *Focal Press*.

Campo-Muñoz, W. Y., Astaiza-Hoyos, E., & Muñoz-Sanabria, L. F. (2017). Traffic modelling of the video-on-demand service through NS-3. *DYNA*, *84* (202), 55–64. https://doi.org/10.15446/dyna.v84n202.61650

Campo Muñoz, W. Y., Bermudez, H. F., & Astaiza Hoyos, E. (2018). Characterization of traffic of the video streaming service based on lexical analyzers. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, *26*(3), 448–458. https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000300448

Carballar, J. A. (2010). Wi-Fi, lo que se necesita conocer. Madrid. *RC Libros*.

Ericsson. (2018). *Ericsson Mobility Report November 2018*. Retrieved from *www.ericsson.com/mobility-report*

Kalampogia, A., & Koutsakis, P. (2018). H.264 and H.265 Video Bandwidth Prediction. *IEEE Transactions on Multimedia*, *20*(1), 171–182. https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2713642

Mishra, A., & Kanso, A. (2012). Integration of the VideoLAN Client with OpenSAF: An Example. In *Service Availability* (pp. 371–389). Chichester, UK: John *Wiley & Sons, Ltd*. https://doi.org/10.1002/9781119941378.ch14

Richardson, I. E. G., & Richardson, I. E. G. (2010). *The H.264 advanced video compression standard*. *Wiley*.

Riley, G. F., & Henderson, T. R. (2010). The ns-3 Network Simulator. In K. Wehrle, M. Güneş, & J. Gross (Eds.), *Modeling and Tools for Network Simulation* (pp. 15–34). *Springer* Berlin Heidelberg.

Vun, N., & Ansary, M. (2010). Implementation of an embedded H.264 live video streaming system. In *IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2010)* (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/ISCE.2010.5523699

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/06/2019
Aceitação/Acceptance: 13/09/2019

What do students say about their universities? Generation of ontologies from users posts content in social networks

Angel Fiallos[1], Xavier Ochoa[2]

anfiallos@fiec.espol.edu.ec, xavier.ochoa@nyu.edu

[1] Escuela Superior Politecnica del Ecuador, Facultad de Ingenieria Eléctrica y Computación, Guayaquil, Ecuador.

[2] New York University, Department of Administration, Leadership and Technology, New York, USA.

Pages: 327–339

Abstract: This work presents a methodology to generate ontologies from posts in social networks, through datamining, machine learning, and natural language processing techniques. The study analyzes students' discourses on Facebook, Instagram and Twitter networks that refer to five Ecuadorian universities, and the ontologies generated from the most relevant concepts present in their posts related to students behaviors and university life. The results obtained suggest that the methodology can be used to provide information from unstructured data, and can also be used in analysis, understanding, and decision-making, as well as for the use of other applications in different fields.

Keywords: Ontologies; natural language processing; social networks; data mining

1. Introduction

The quantity of textual data presented in social media, such as online forums, blogs, and social networks posts, is highly dynamic and involves interaction among various participants. There is a massive amount of text continuously generated by users in informal environments. Standard data mining techniques do not have enough resources to evaluate and to understand unstructured data; therefore, linguistic techniques are necessary. Text mining and Natural Language Processes are the most promising avenues for social media data processing and for providing methods and algorithms which extract meaningful information from a large volume of data coming from multiple sources and languages (Farzindar & Inkpen, 2015). Social media is essential because the use of social networks has made everybody a potential author, so the language is now closer to the user than to any prescribed norms (Beverungen, 2011). In this way, students share information about events, activities, services opinions, and their experiences at the university on social media channels (Liu 2010). This information can be used for monitoring, feedback, and to recommend actions for improvements by managers and tutors. On the other hand, ontologies are the best way to share a common understanding of the structure of information among people or software agents (Musen, 1992) (Gruber,

1993). These are representing a set of concepts within a domain and the relationships between those concepts. They can thus be considered as the explicit and abstract model representation of finite sets of terms and concepts already defined by Fensel (2003).

We propose a methodology for ontologies generation that can express a basic understanding of the domain in unstructured data related to universities from diverse social networks. These ontologies can be used for analysis and comprehension about students' interests, problems, behaviors, opinions, and preferences about universities and academic issues, in a simple, formal, and explicit way.

For this study we collected social networks data that refers to the following Ecuadorian universities: Universidad Catolica Santiago de Guayaquil, Escuela Superior Politecnica del Litoral, Universidad de Especialidades Espiritu Santo, Universidad San Francisco de Quito and Universidad de Cuenca.

The rest of this work is structured as follows: Section 2 describes the related work, Section 3 presents the proposed methodology, Section 4 describes the results of the case study analysis, and Section 5 presents the conclusions and future work components, incorporating the applicable criteria that follow.

2. Related Work

Ruch et al. (2007) propose the use of various bag-of-words or bag-of-n-grams representations to classify sentences from abstracts in the domains of clinical trials and biomedicine in categories, such as introduction, purpose, method, results, and conclusions. Gaeta et al. (2011), extract knowledge ontologies from structured documents, using text mining and semantic analysis techniques and Sun et al. (2017) uses hierarchy Latent Direchlet Allocation (hLDA) model to generate a tree structure of the topic hierarchy for a java program comprehension. Also, Sam (2017), proposes a model design that analyzes the unstructured customer reviews inside the posts on social networking websites, and Salas-Zarate et al. (2017), propose a sentiment analysis method based on ontologies in the diabetes domain from Twitter. In all the approaches reviewed, something stands out. They are addressed using either rules or Machine Learning methods based on features disregarding other information, such as the syntactic dependencies. Our work differs from the above studies because the ontologies generated have common concepts found in different unstructured documents from several sources. Moreover, syntactic sequences of words were taken into consideration, as well as their order of appearance in sentences. In this way, we make sure that these ontologies, specifically designed to explain a domain representation, have only the most relevant terms and relations in a hierarchical structure.

3. Materials and Methods

In figure 1, we show the methodology phases for configuration of a multi-label text classification framework, including unstructured data extraction from several sources for topic modeling. Then, we explain each process step.

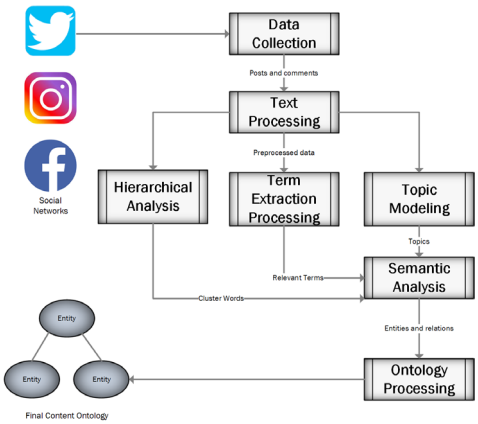


Figure 1 – A proposed Framework for Ontologies Generation from Social Networks Content.

3.1. Data Collection

Information was collected from publications about activities, comments, and opinions from social networks: Facebook, Instagram, and Twitter. We selected 15.149 public posts between August and December of 2018, which presented interaction (comments and likes) among students on issues related to university life and that are linked by hashtags referring to the selected universities (#espol, #ucsg, #uees, #ucuenca, #usfq). We only considered publications that have more than two comments and that do not refer to advertising, sales, or other issues outside academic scopes.

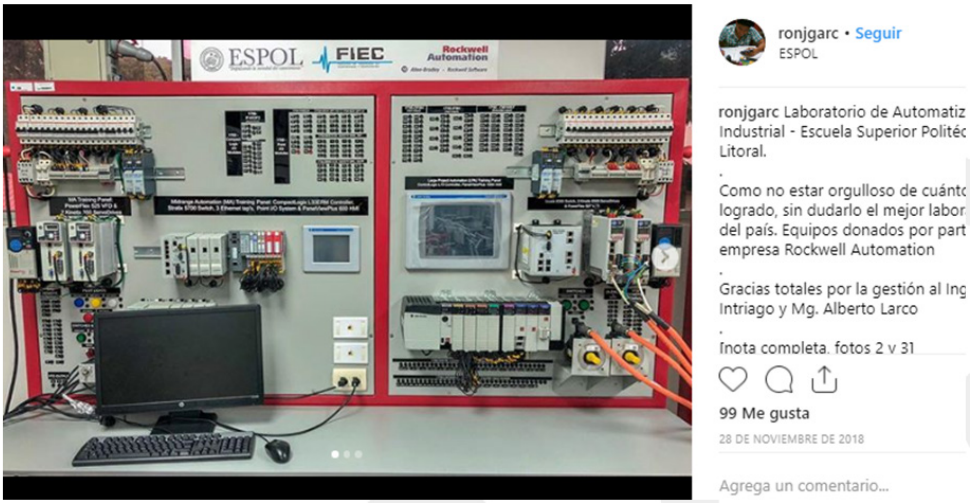


Figure 2 – Instagram post with hashtags

For data extraction, we used python scraping algorithms with Selenium and BeautifulSoup libraries and wrapper functions with Twitter and Instagram API. The following features per post were gathered: post id, user id, hashtags, date, text, and comments count. Next, each document was processed, considering the following steps:

1. Lexical analysis where each document was transformed into words to describe the content,
2. Elimination of empty words, generally composed of articles, prepositions, marks, conjunctions, numbers, punctuation marks and words that did not describe the content semantically and are of little interest for the analysis, and
3. Stemming process or recognition of stems that consisted of the automatic elimination of non-essential parts of the terms (suffixes, prefixes) to reduce them to their essential part. The percentages of publications by social networks during this period were as follows. Twitter 30.60%, Facebook Forum Pages, 8.17%, and Instagram 61.23%, indicating the popularity that Instagram has on students. Figure 4 shows an Instagram post associated with hashtag "espol."

3.2. Terms extraction process

Text mining processes such as TF-IDF (Jurafsky & Martin, 2000), were applied over documents in order to determine the most relevant topics in user posts. TF-IDF is a technique for term extraction that allows the identification of terms in a document. Besides term frequency, this technique also considers the relevance of the terms in the document. This process requires a corpus to distinguish standard terms from the relevant ones, those which appear in the analyzed document but are not frequently used in any other document. After extracting all posts along with their user comments, the term frequencies for the whole corpus was calculated. Then, we applied a Part-Of-Speech Tagging process (Toutanova et al. 2003), using Stanford Parser NLP library, over terms, to identify only the nouns. Finally, these terms are stored in lists for subsequent validations. In Figure 4, an example of part-of-speech in a sentence is shown.

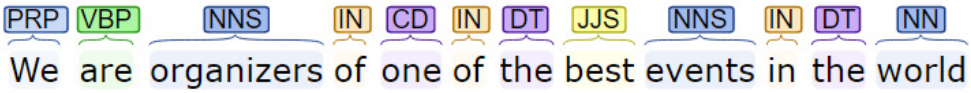


Figure 3 – Part-of-speech from a sentence.

3.3. Topic Modeling

The concepts composed of one or more relevant terms extracted from corpus was identified, using the hierarchical LDA. Unlike latent Dirichlet allocation, this topic model infers the number of topics from the data. (hLDA) model (Blei et al., 2003) extends Latent Dirichlet Allocation to infer a hierarchy of topics from a corpus of documents and makes it possible to assume that topics are arranged in a treelike structure where the tree has L levels and every node is a topic. More abstract topics are near its root, and more concrete topics are near its leaves. Hierarchy LDA considers a dataset composed

of a corpus of documents, where each document is a collection of words, and each word is an item in a vocabulary. Our underlying assumption is that the topics in a document are represented as a mixture model, where the mixing proportions are multinomial random and document-specific (Blei, Ng & Jordan, 2003). These topics are the basic mixture components in hLDA.

To configure hLDA, it is necessary to choose a path in the L-level tree from root to leaf and a vector topic Θ of topic proportions from a Dirichlet distribution of L dimensions, then use a mixture of the topics from root to leaf to generate the words that make up each document.

3.4. Semantic Analysis

For the semantic analysis and the relationships extraction, we used Part-Of-Speech Tagging (POST) and Open information extraction techniques (Angeli et al., 2015) that process the linguistic analysis of sentences and paragraphs terms, verbs and proper names. First, each sentence of the documents related to its similarity is divided into a set of related clauses. Each clause is reduced to the maximum, producing a set of shorter sentence fragments. These fragments are then segmented into information extraction triples, which were grouped and prioritized according to the concepts and terms presented in selected posts that contain nouns identified in term extraction process. The corpus and documents are almost entirely in Spanish, so the NLP tools used must support that language. Among different approaches, we chose an implementation of LinguaKit (Gamallo et al., 2018). Linguakit is a Natural Language Processing tool which supports Spanish language and includes relation extraction methods, that returns triples SUBJECT - RELATION - OBJECT using algorithms based on Open Information Extraction.

3.5. Ontology Generation

An important quality criteria to be considered for a resulting ontology are the number of relevant concepts and relations that describes the specific domain and the comprehension of its structure (Hatala et al., 2012). For this last point, the visualization of the ontology is important. For these reason, we choose to generate ontologies with a maximum range between 50 to 100 concepts and a four-level hierarchy.

The main task is creating simple and compound concepts in an ontology. First, this process takes specific words from topics identified in the topic modeling process. Next, the process links the concepts directly with the topic words associated with each selected post and creates the relationships defined in the semantic analysis process and grouped them. In case of finding similar terms, they were identified through text processing operations (such as stemming). Also, the concepts composed of one or more nouns were identified, using the techniques of key phrase extraction, to be later incorporated into the ontology. The ontologies were represented with a graph in which nodes are relevant concepts, and edges are relations between them. So, we try to envisage the knowledge of domain L and to find a group of terms representing relevant concepts in L. The result of this process is a list of terms.

$$L = C1,C2,C3 \tag{1}$$

Where *L* is a conceptualization of *K* (Knowledge), and *C1, C2, C3* are ontology concepts. As a final step, the definitive graph is used to generate an ontology in standard OWL format.

4. Results

Once data was collected, it was preprocessed to remove Unicode text emojis, stop words, and transform text in a sequence of tokens. Next, data was organized into five datasets: (ESPOL, USFQ, UCSG, UCUENCA, UEES). Table 1 shows a sample of terms and the number of words per each dataset.

Dataset	Words Count	Sample Terms
ESPOL	12916	students, friends, congratulations, espae, yosoyespol, event, sporadic, datajamec, campus, week, iweek
USFQ	8316	friends, congratulations, life, architecture, students, dragonsporsiempre, donation
UCSG	4393	design, research, professional, marketing, medicine, career, congress, art, life, graduation
UCuenca	6105	faculty, students, sciences, hospital, architecture, education, graduates, arts, carnetization
UEES	9029	tourism, congress, success, goals, congratulations, degree, conference, project, architecture

Table 1 – Datasets Summary

Next, terms extraction process was used to detect the most relevant terms. For ESPOL dataset was considered 12802 words (99.12%) from 4127 documents. The most common terms with higher TF-IDF weights were: “yosoyespol”, “iweek”, “engineering”, “campus”, “datajamec”, “congratulations”, “students”, “espae”, “mountainbike”, among others. Figure 4 shows terms that have a TF-IDF weight greater than 500 and suggest that most of the posts are related to faculties, friendship, students’ activities, sports, and academic events.

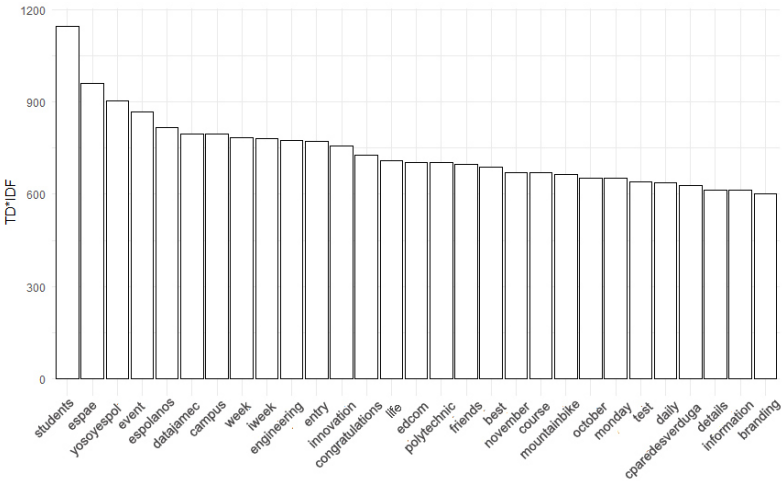


Figure 4 – Most Frequent terms in five ESPOL dataset.

For the dataset of the five universities posts, 31.799 unique terms (99.24%) were conserved for the following analysis. Figure 5. shows the most frequent terms with higher TF-IDF weights. They were: "students," "semester," "lessons," "faculty," "life," "thesis," "partial," "events," "career," "overcoming" among others. These terms have a TF-IDF weight greater than 1.500 and suggest that most of the posts are related to semester tests, university life, graduations, friendship, and faculty activities.

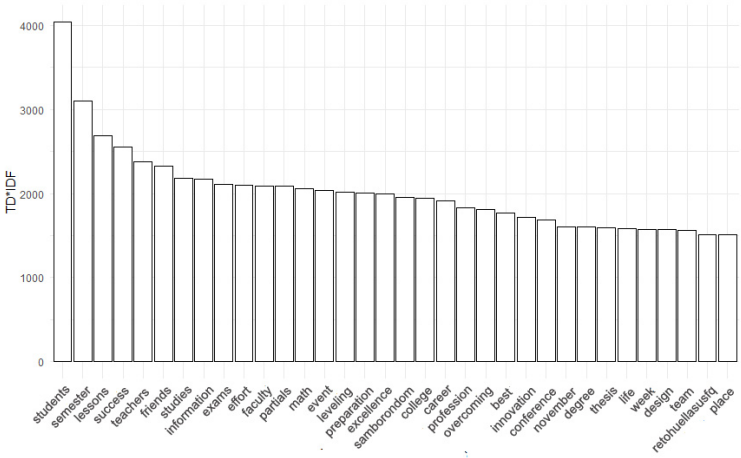


Figure 5 – Most Frequent terms in five Universities dataset

4.1. Ontologies Processing

To prepare the data and to create the corpus, text preprocessing routines, such as Tokenization, elimination of Stop words and Stemming, were run over datasets. Next, using Java Mallet, multiple executions were run for configuration of hLDA topic models. Among 500 to 1.000 iterations, were considered to obtain optimum smoothing over topic distribution hyperparameter α , and the smoothing over topic word distribution hyperparameter β . Finally, the number of topics returned by hLDA model, were 223 for ESPOL dataset and 689 for universities dataset. Table 2 shows a sample of words for a subsets of nodes (topics) in a label tree that was learned via hLDA using ESPOL and Universities datasets, respectively.

Level	Topic Terms for ESPOL dataset	Topic Terms for Universities dataset
0	i3week, yosoyespol, innovation, student, event, university, espolano, project, datajamec, friend, campus	University, student, project, faculty, career, event, best, friend, life, information, work, science
1	nation, app, life, best, training, thesis, bank, solution, edcom, section, music, academic, tech	retohuellausfq, challenge, plastic, carbon, footprint, ecological, environmental, reduction, engineering,
1	study, article, entailment, espolbike, crosscountrymtb, sunset school, cultural, datajamecuador,	induction, production, faculty, relevance, biodiversity, educational, entrepreneur, architectal, freshman

Level	Topic Terms for ESPOL dataset	Topic Terms for Universities dataset
1	education, mentor, kenrobinson, degree, speed, datajam, scientific, nature, worldwide, competition	student, memory, support, generation, polytechnic, natural, project, event, community, marketing
1	information, reencuentroespol, south, dynamic, tourism, science, experience	degree, prototype, music, presence, circuit, ninth, inscription, bigdata, brand, exchange, cohort, need
1	payment, transespol, tournament, advertisement, recognition, culture, means, world, initiative,	natural, friends, engine, nature, course, creation, allyouneedisecuador, design, education, development, tourism

Table 2 – A sample of hLDA topics from ESPOL and Universities datasets

Then, only posts that contain main concepts detected by hLDA (level 0 and level 1) in their sentences were selected to apply topic modeling. Table 3 shows example topics per post and their distributions of words. After executing the process, the nouns extracted from topics with probability values between 0.40 and 1, were taken and connected to the main concepts. Each term becomes a concept within the ontology, and the parent-child relation between terms becomes a relation.

Post	Prob	Topic Words
Meet our Laboratory of Experimental Economics and Behavior at @Espol	0.08	Lessons, business, english, teaching, behavior, speakers, links
	0.12	laboratory, insurance, graduate, future, unit, month, marketinglife
	0.14	share, knowledge, wonderful, speakers, doctors, work, grow, end
	0.24	entry, exam, test, teaser, pagoda, explosives, aptitude, knowledge, laboratory
	0.42	degree economics research, ethical, fortunate, crisis, counseling, learn

Table 3 – Example of topics extracted from an Instagram Post

The number of topics words to be extracted per post is a configurable parameter k of the topic extraction algorithm. In the course of experiments, values between four and fifteen were evaluated. The size of the final ontology varied according to this value, i.e. a smaller number of topic words resulted in a smaller number of concepts and relationships. In this way, we selected a k value of 4, to obtain a number of entities between 60 and 70 in the resulting ontologies.

Figure 6 shows the relation between the number of topic words per post and the number of terms of the final ontology, detected during the experiments.

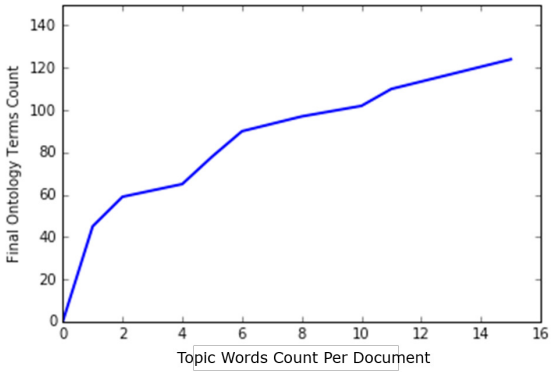


Figure 6 – Relation between k and Ontology Terms count

The hierarchical structure is constructed, taking the terms which belong to the zero and first level, to build an index of terms. To avoid words with similar meaning, it was verified that the words are nouns using POST algorithms (Part-of-Speech Tagging) provided by Stanford Spanish Parser Tools (Klein & Manning, 2003) and that they did not have the same stem.

The connections between concepts, by default, can be interpreted as a "Has Related" relation and are considered as axioms in the final ontology. However, they can be replaced by the verbs identified in Spanish sentences during semantic analysis and triples extraction processes. Next, during the semantic analysis process, in order to extract more and more profound relations between terms, a triples extraction process using Linguakit Perl tool was applied to Spanish sentences extracted from social networks posts. Table 4 shows terms in structured relation triples.

Subject	**Relation**	**Object**
Students	share	professors and administrative staff from the faculty of natural sciences
Tomorrow	will be participating	the Basketball women's team
This project	tries to bring	an effective communication culture of ESPOL to the city
Students from different schools	do	an educational journey
The activities	develop	the student clubs of ESPOL

Table 4 – Triples extraction process for sentences.

The triples extraction process identified hundreds of triples in posts, but only those that had terms present in topic lists were selected. These terms were connected and added

to the definitive ontology. Figure 7 Shows an excerpt from ESPOL University posts ontology graph, obtained from the following main concepts: 'yosoyespol', 'students', 'i3week', 'project', 'event' and 'innovation'. This ontology has 54 terms in a hierarchy in its first three levels and 68 terms in the first fourth levels.

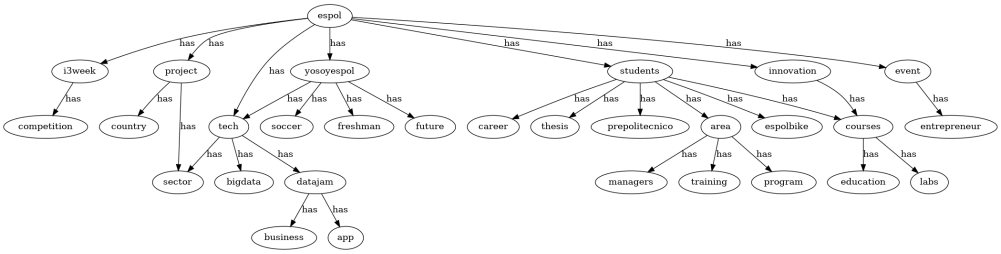


Figure 7 – Final Ontology Excerpt for ESPOL dataset.

Figure 8 shows an excerpt of the ontology graph for universities dataset, obtained from six main concepts (student, faculty, project, event, work, life). This ontology has 61 terms in a hierarchy in its first three levels and 72 terms in the first fourth levels.

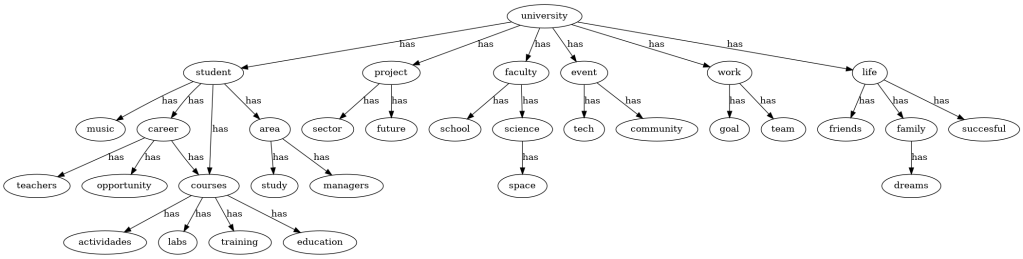


Figure 8 – Final Ontology Excerpt for universities dataset

4.2. Evaluation

Our case study involved 8 participants from universities. Half of them are graduates or teachers, and the others are undergraduates. We investigated whether the approach helps the participants to understand the most relevant themes in social networks posts. To show whether the ontologies generated by our methodology is useful, the participants needed to assess whether the ontologies enable them to understand the datasets samples. A five-point Likert scale with 1 (very useless) to 5 (very useful) assessed each participant's view of the ontologies. According to the scores, we can see whether the model helps topics comprehension.

Each participant was given a random sample of posts extracted from datasets of ESPOL and Universities, the ontologies generated and a five-point Likert scale to answer questions related to the quality of the topics. The average score of the results is around

3.7, which indicates that the participants think that the ontologies concepts are useful to understand the posts collections. Table 5 shows the score given per each participant.

Subject	Participants								Av
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
Espol Ontology	3.0	4.0	4.0	3.0	4.0	3.0	4.0	5.0	3.8
Universities Ontology	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.5

Table 5 – Score for the quality of ontologies

5. Conclusions

In this work, it was possible to design in automatically way, an ontology in the Spanish language to discover relevant information in posts about universities. The unstructured data was extracted from several social networks such as Facebook, Instagram, Twitter, and was processed through text mining, machine learning, and natural language process techniques.

The applied methodology can be used to create ontologies based on social network publications that generate interaction between users, regardless of the language and content themes. The final ontologies can help to discover interests and conversation topics in users and provide, in a simple way, useful information for the understanding and decision-making process by managers and tutors, besides being useful for analytics applications and recommendation systems. In addition to the topics of interest present in the ontologies, we expected to find information on other aspects related to students, such as courses opinions or problems in academic progress, but they are only detectable in ontologies configured to have a larger size.

As future work, we envision the use of other sources such as Wikipedia to improve the relationships between concepts in generated ontologies and to build ontologies from publications related to research topics and influential educators. Also, it has been considered will made evaluation tests with a greater number of participants.

References

Angeli, G., Johnson Premkumar M. J., & Manning C. D. (2015). Leveraging linguistic structure for open domain information extraction. In Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing (pp. 344–354). Beijing, China.

Beverungen, G., & Jugal K., (2010). Evaluating Methods for Summarizing Twitter Posts. In Proceedings of the Fifth International Acm Conference on Web Search and Data Mining.

Blei, D., Ng, A., & Jordan, M. (2003). Latent dirichlet allocation. Journal Machine. Learning. Research., 3:993–1022.

Blei, D., Jordan, M., Griffiths, T., & Tenenbaum, J. (2003). Hierarchical topic models and the nested chinese restaurant process. In Proceedings of the 16th International Conference on Neural Information Processing Systems, NIPS'03 (pp. 17–24). Cambridge, MA, USA: MIT Press.

Farzindar, A., & Inkpen, D. (2015). Natural language processing for social media. Synthesis Lectures on Human Language Technologies, 8:1–166, 08.

Fensel, D. (2003). Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Gaeta, M., Orciuoli, F., Paolozzi, S., & Salerno, S. (2011). Ontology extraction for knowledge reuse: The e-learning perspective. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, 41:798–809.

Gamallo, P., Garcia, M., Pineiro, C., Martinez-Castano, R., & Pichel, J. (2018). Linguakit: a big data-based multilingual tool for linguistic analysis and information extraction. In The Second International Workshop on Advances in Natural Language Processing.

Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge. Acquisition, 5(2):199–220, June.

Hatala, M., Gašević, D., Siadaty, M., Jovanovic, J., & Torniai, C. (2012). Ontology Extraction Tools: An Empirical Study with Educators. In IEEE Transactions on Learning Technologies, 5 (3), 275-289.

Jurafsky, D., & Martin, J. (2000). Speech and language processing: an introduction to natural language processing. Computational Linguistics, and Speech Recognition (1st ed). Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA.

Klein, D., & Manning, C. (2003). Accurate unlexicalized parsing. In Proceedings of the 41st Annual Meeting on Association for Computational Linguistics - Volume 1, ACL '03 (pp. 423–430). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics.

Liu, B. (2010). Sentiment analysis and subjectivity. In Handbook of Natural Language Processing (2nd ed.). Taylor and Francis Group, Boca.

Musen, M. A. (1992). Dimensions of knowledge sharing and reuse. Computers and Biomedical Research, 25(5), 435–467.

Ruch, P., Boyer, C., Chichester, C., Tbahriti, I., Geissbuhler, A., Fabry, P, Gobeill, J., Pillet, V., Rebholz-Schuhman, D., Lovis, C., & Veuthey, A. (2007). Using argumentation to extract key sentences from biomedical abstracts. International journal of medical informatics, 76:195–200, 02.

Salas-Zarate, M., Medina-Moreira, J., Lagos-Ortiz, K., Luna-Aveiga, H., Rodriguez-Garcia, M., & Valencia-Garcia, R. (2017). Sentiment analysis on tweets about diabetes: An aspect-level approach. Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2017. https://doi.org/10.1155/2017/5140631

Sam, K. M. (2017). Ontology-based sentiment analysis model of customer reviews for electronic products. Encyclopedia of Information Science and Technology.

Sun, X., Liu, X., Duan, Y., & Li, B. (2017). Using hierarchical latent dirichlet allocation to construct feature tree for program comprehension. Scientific Programming, 2017. https://doi.org/10.1155/2017/4382348

Toutanova, K., Klein, D., Manning, C., & Singer, Y. (2003). Feature-rich part of speech tagging with a cyclic dependency network. In Proceedings of NAACL '03 (pp. 173–180). Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/05/2019
Aceitação/Acceptance: 09/07/2019

Estudio del atributo satisfacción en pruebas de usabilidad, mediante técnicas de análisis de sentimientos

Gabriel Elías Chanchi G.[1], Wilmar Yesid Campo M.[2], Luz Marina Sierra M.[3]

gchanchig@unicartagena.edu.co, wycampo@uniquindio.edu.co, lsierra@unicauca.edu.co

[1] Universidad de Cartagena, Avenida del Consulado, calle 30 No. 39 B - 192, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

[2] Universidad del Quindío, Cra. 15 Cll 12 norte, 630004, Armenia, Colombia.

[3] Universidad del Cauca, Cll. 5 # 4-70, 190004, Popayán, Colombia.

Pages: 340–352

Resumen: Con el creciente aumento de las aplicaciones web, ha surgido la necesidad de que estas aplicaciones incorporen características de usabilidad, como un requisito crucial en su desarrollo. Según la ISO 9241-11, los atributos que definen la usabilidad de un producto software son la eficacia, la eficiencia y la satisfacción, siendo este último, el más subjetivo de los tres, porque es obtenido mediante cuestionarios de percepción y/o la observación del comportamiento del usuario por parte del coordinador de la prueba. En consecuencia, este artículo, propone el uso de la computación afectiva, al incorporar una herramienta para el análisis de sentimientos, que obtiene la polaridad y la subjetividad de un estudio de satisfacción de usabilidad, realizado a los usuarios de una aplicación. Los resultados producen indicadores más objetivos para la estimación de la satisfacción, esto con el fin de convertirse en una guía para la conducción de pruebas de usabilidad.

Palabras clave: análisis de sentimientos; polaridad; subjetividad; usabilidad.

Study of the satisfaction attribute in usability tests by using sentiment analysis techniques

Abstract: With the increasing number of Web applications has emerged the need for these applications incorporate usability features, as a crucial requirement in its development. According to ISO 9241-11, the attributes that define the usability of a software product are effectiveness, efficiency and satisfaction, the latter being the most subjective of the three, to be obtained through perception questionnaires and/or the observation of user behavior by the test coordinator. Consequently, this article proposes the use of affective computing, by incorporating a tool for the sentiment analysis, which obtains the polarity and subjectivity of a usability satisfaction study, performed with the users of an application. The results produce more objective indicators for estimating satisfaction, with the purpose of become a guide for conducting usability tests.

Keywords: polarity; sentiment analysis; subjectivity; usability.

1. Introducción

La interacción humano computador está centrada en el diseño y construcción de sistemas informáticos adecuados a las necesidades de un usuario, convirtiéndose en un tema de relevancia en la actualidad, gracias a la gran cantidad de aplicaciones desplegadas en internet y al incremento en el número de usuarios que consumen diferentes tipos de aplicaciones para diversos contextos. De este modo, la construcción de sistemas usables se ha convertido en un elemento prioritario en el área del desarrollo de software (Solis Tech, 2016; Grau, 2007; Preece, 1994).

Según la ISO 9241-11, la usabilidad es entendida como el grado en el que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para conseguir objetivos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un determinado contexto de uso. La anterior definición, describe los tres atributos a tener en cuenta para estimar el grado de usabilidad de un producto software (Mascheroni, Greiner, Petris, Dapozo, & M., 2012), así: la eficacia es referida al cumplimiento de los objetivos del usuario; la eficiencia a la optimización de los recursos, siendo el tiempo el recurso más importante para el usuario; y finalmente, la satisfacción está asociada al confort y a la existencia de actitudes positivas durante la interacción (Enriquez & Casas, 2013), por tanto, según la ISO 9241-11, la satisfacción, tiene un carácter subjetivo (Enriquez & Casas, 2013; Hassan, 2015). De este modo, la emocionalidad de un usuario se constituye como un factor relevante en el proceso de la interacción, estableciendo la percepción del usuario con respecto a un sistema interactivo (Delgado, Girón, Chanchí, & Márceles, 2018; Hassan & Martín, 2003; Schall, 2015).

Por otra parte, la computación afectiva, ha surgido como un área de investigación emergente, centrada en el desarrollo de dispositivos y sistemas con capacidad para reconocer, procesar y simular las emociones humanas con el fin de mejorar la interacción entre el usuario y el computador (Baldasarri, 2016; González, 2017). Por tanto, es pertinente el uso de técnicas de computación afectiva con el fin de obtener indicadores para la estimación objetiva del atributo satisfacción, por ejemplo, el análisis de sentimientos, que es una técnica menos invasiva y puede ser usada en el contexto de un test de usuario, sobre preguntas abiertas aplicadas posteriormente a la inspección de usabilidad. Esto considerando que, en general, el atributo satisfacción en una prueba de usabilidad es obtenido mediante la observación del comportamiento del usuario (actitudes y gestos) al interactuar con el software, y las respuestas al cuestionario de percepción posterior a la prueba.

En este artículo, se propone un estudio del atributo satisfacción en pruebas de usabilidad, mediante el uso de análisis de sentimientos sobre las respuestas a las preguntas abiertas proporcionadas a los usuarios después de la ejecución de la inspección de usabilidad sobre un software determinado. Para la conducción del estudio de satisfacción, se desarrolló una herramienta para el análisis de sentimientos sobre texto en los lenguajes Java y Python, cuyo propósito es obtener la polaridad y la subjetividad de las respuestas obtenidas de los los usuarios.

A continuación, en la sección 2 se presentan las diferentes fases metodológicas consideradas en la presente investigación; en la sección 3 se describen conceptos

relevantes para el desarrollo de este trabajo; en la sección 4, se presentan los elementos considerados en el diseño de la prueba; en la sección 5 se describe la herramienta de análisis de sentimientos construida; en la sección 6 se presentan los resultados obtenidos a partir de la prueba de usabilidad y el uso de la herramienta de análisis de sentimientos. Finalmente, en la sección 7 se describen las conclusiones y trabajos futuros derivados de la presente investigación.

2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se consideraron 4 fases a saber (ver figura 1): **Fase 1 – Preparación del test:** Se socializó con el grupo de usuarios los diferentes principios heurísticos de Nielsen, presentando un conjunto de criterios a tener en cuenta para la identificación de problemas asociados a cada uno de los principios. **Fase 2 – Inspección de usabilidad:** A partir de las pautas orientadas en la fase 1, el conjunto de usuarios realizó una inspección de usabilidad sobre la herramienta de generación de animaciones Pivot, teniendo en cuenta las heurísticas de Nielsen. **Fase 3 – Cuestionario de percepción:** Después de la fase 2, se solicitó a los usuarios responder dos preguntas abiertas acerca de la percepción obtenida con la herramienta evaluada. **Fase 4 – Análisis de las respuestas:** Se utilizó la herramienta construida en esta investigación, con el fin de analizar la polaridad de las respuestas de los usuarios recolectadas en el cuestionario de percepción; y obtener indicadores de la satisfacción.

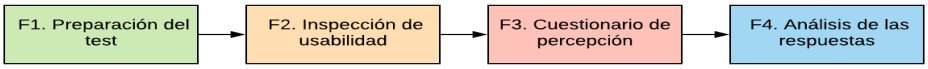


Figura 1 – Metodología propuesta

3. Marco Conceptual

3.1. Principios Heurísticos de Nielsen

Una heurística en usabilidad (Nielsen, 1994), es entendida como una regla general adecuada a cada caso concreto de evaluación para reflejar en los ítems a evaluar, la naturaleza, tipo de interfaz y el contexto de uso de la misma, por tanto, las heurísticas permiten guiar el proceso de diseño de un software, así como identificar problemas en las interfaces de usuario. En 1990 Nielsen (Nielsen, 1994) propuso 10 heurísticas de usabilidad, como una respuesta a un conjunto de problemas comunes de usabilidad para el diseño de aplicaciones interactivas, obtenidas a partir del análisis de 249 problemas identificados en proyectos de diseño centrado en el usuario. Estas heurísticas en la actualidad se continúan utilizando para guiar el proceso de diseño de aplicaciones y han sido adaptadas diferentes contextos (aplicaciones web, videojuegos, entornos educativos, etc.). En la tabla 1, se presentan las 10 heurísticas de Nielsen (Arancibia & González, 2017).

Heurística	Descripción
H1. Visibilidad del estado del sistema	El sistema debe mantener siempre informado al usuario sobre el estado del sistema.
H2. Lenguaje de los usuarios	El sistema debe hacer uso de lenguaje escrito y visual que le resulte familiar al usuario (representación del mundo real).
H3. Control y libertad de usuario	El usuario debe tener la libertad para controlar la interfaz libremente, así como deshacer y rehacer las acciones realizadas.
H4. Consistencia y estándares	El sistema debe ser consistente en las diferentes vistas en cuanto a la disposición de los elementos, el diseño, los colores y las fuentes.
H5. Ayuda a los usuarios para reconocimiento, diagnóstico y recuperación de errores	El sistema debe indicar claramente el error que comete el usuario e indicarle como llegar a una situación estable.
H6. Prevención de errores	El sistema debe en la medida de lo posible evitar que el usuario cometa errores en las diferentes acciones que ejecute.
H7. Reconocimiento antes que cancelación	El usuario no debería retener información de una vista a la otra del sistema.
H8. Flexibilidad y eficacia de uso	El sistema debe posibilitar que las diferentes funciones se adapten a los usuarios novatos y expertos.
H9. Diseño estético y minimalista	El sistema debe presentar de manera prioritaria la información relevante y ocultar la irrelevante.
H10. Ayuda y documentación	La ayuda debe ser clara, consisa y centrada en las tareas que realiza el usuario.

Tabla 1 – Principios de Nielsen

3.2. Método de inspección

La inspección de usabilidad, define un conjunto de técnicas para la evaluación de las interfaces de usuario, cuyo fin es encontrar problemas de usabilidad de acuerdo a un conjunto de principios prestablecidos (Chang & Dillon, 2006). Las inspecciones de usabilidad, se caracterizan por ser informales y muy sencillas de aplicar, generalmente, se realizan con un conjunto de usuarios que tengan conocimiento sobre los principios heurísticos a considerar en la evaluación (Enriquez & Casas, 2013). En este trabajo se hizo una prueba de usabilidad sobre la herramienta Pivot 3.1 con 10 usuarios, teniendo en cuenta que con al menos 5 usuarios se pueden obtener al menos entre el 65% y el 75% de los problemas de usabilidad de un sistema software (Pérez, García, & Hernández, 2015).

3.3. Análisis de sentimientos

El análisis de sentimientos se encarga de clasificar un documento de diferentes contextos de aplicación (productos, películas, deportes, cultura, etc.) en función de la polaridad de la opinión que expresa el autor, mediante enfoques semánticos (diccionarios de términos), aprendizaje de máquina (máquinas de soporte vectorial, Naive Bayes, aprendizaje profundo, entre otros), entre otros (Ravi & Ravi, 2015). En este contexto, la

determinación de polaridad de una opinión es valorada como positiva, neutra o negativa acerca de un producto, servicio, organización, persona o sobre cualquier tipo de ente sobre el que es posible expresar de manera escrita una opinión (Martínez, Martín, & Ureña, 2014) (Montesinos & Orchard, 2014) y la subjetividad de una oración está dada por una emoción, un juicio o una opinión personal, mientras que la objetividad se refiere a información basada en hechos, por tanto, el análisis de subjetividad es el reconocimiento de la asociación de las palabras y su sentido(Ravi & Ravi, 2015). El análisis de sentimientos ha sido dinamizado por el auge de las redes sociales en los últimos años y por la necesidad de procesar la gran cantidad de información en formato de texto que estas generan minuto a minuto, por lo tanto, se han abierto nuevas posibilidades de investigación en diferentes contextos de aplicación, como por ejemplo, opiniones sobre un personaje público en función de su gestión pública (Herrera, 2019), la usabilidad (Sobrino & Kanaan, 2018), entre otros.

4. Diseño de la prueba de usabilidad

La inspección de usabilidad fue realizado con el fin de evaluar la usabilidad de la herramienta Pivot Portable 3.1 (SourceForge, 2019), la cual permite la creación de animaciones basadas en fotogramas (ver figura 2a). La inspección de usabilidad fue realizada con 10 usuarios de manera independiente (estudiantes del curso HCI), teniendo en cuenta los 10 principios heurísticos de Nielsen (Arancibia & González, 2017). En primera instancia, se socializó de manera grupal cada uno de los principios de Nielsen, ejemplificando su aplicación en diferentes contextos y proporcionando a los usuarios una lista de chequeo con diferentes criterios a tener en cuenta para cada principio, aplicado al desarrollo de la inspección sobre la herramienta Pivot Portable 3.1.

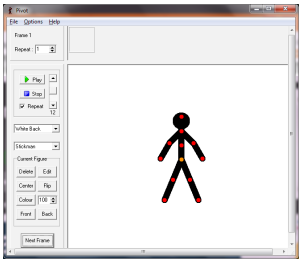


Figura 2a – Herramienta Pivot Portable 3.1

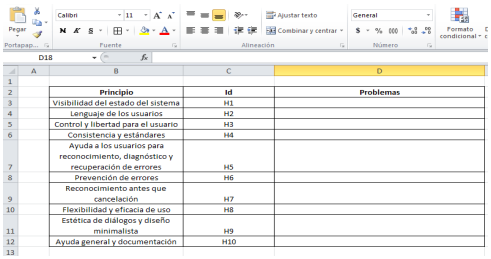


Figura 2b – Hoja de cálculo de los usuarios

En segunda instancia, se solicitó a los usuarios que llenaran una hoja de cálculo como la presentada en la figura 2b. En esta hoja de cálculo se consignaron los problemas identificados con respecto a los principios de Nielsen. Finalmente, una vez los 10 usuarios hicieron la inspección sobre la herramienta Pivot Portable 3.1, se les solicitó que diligenciaran un cuestionario básico de 2 preguntas abiertas acerca de la percepción que tuvieron con respecto a la interacción con la herramienta evaluada. Las dos preguntas se enfocaron en los aspectos que más gustaron y aquellos que menos gustaron de la herramienta (ver figura 3).

Figura 3 – Formulario de percepción

5. Herramienta de análisis de sentimientos

5.1. Diagrama de flujo de la herramienta

En la figura 4, se presenta un diagrama de flujo que representa el procedimiento realizado por la herramienta para el análisis de sentimientos sobre el texto de las respuestas de los usuarios a las preguntas de percepción.

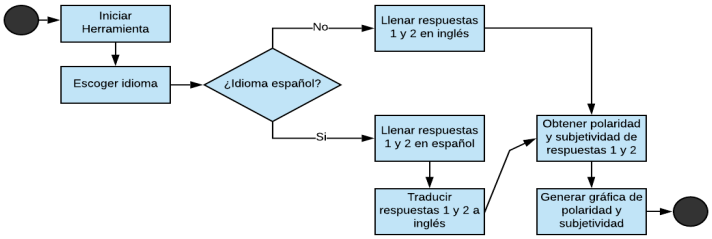


Figura 4 – Diagrama de flujo de la herramienta

Primero, el coordinador de la prueba inicia la herramienta de análisis y escoge el idioma de escritura de las respuestas a las preguntas de percepción realizadas al usuario (inglés o castellano). El idioma, le indica a la librería TextBlob de Python (Loria, 2018), usada en segundo plano para el análisis de sentimientos, si debe hacer la traducción de textos de español a inglés o no. Segundo, el coordinador procede a registrar las dos respuestas consignadas por los usuarios en google forms. Tercero, se obtiene la polaridad y la subjetividad de las respuestas de cada usuario. Finalmente, la herramienta procede con la generación de un gráfico de barras con estos dos parámetros.

5.2. Diagrama de bloques de la herramienta

En la figura 5, se presenta el diagrama de bloques de la herramienta para el análisis de sentimientos propuesta en este artículo, constituida por 4 módulos principales: módulo de GUI, módulo de traducción, módulo de análisis, módulo de reportes.

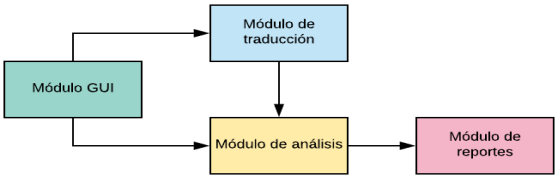


Figura 5 – Diagrama de bloques de la herramienta

El módulo de GUI se encarga de la generación y control de la interfaz gráfica de la herramienta de análisis de sentimientos, que utiliza las clases pertenecientes al paquete Swing de Java. Este módulo permite generar a nivel gráfico el panel de preguntas y respuestas, el panel de análisis de preguntas y respuestas, así como el panel de análisis gráfico. El módulo de traducción, es el encargado de traducir las preguntas de español a inglés, utilizando la librería TextBlob de Python. El módulo de análisis, se encarga de tomar las respuestas en inglés o traducidas a inglés y obtener para cada una la polaridad y la subjetividad, con las funcionalidades de minería de texto proporcionadas por TextBlob. Lo anterior considerando que la librería TextBlob no soporta directamente el análisis de texto en español, pero si posibilita la traducción del mismo para realizar el análisis en inglés. Finalmente, el módulo de reportes, se encarga de representar gráficamente los valores de polaridad y subjetividad de las dos respuestas realizadas en el presente estudio, usando la librería JFreeChart de Java, que posibilita la generación de diferentes tipos de gráficas: lineales, de barras, de torta, etc. Es importante precisar, que la herramienta realiza los procesos de traducción y análisis de sentimientos mediante la invocación de un script de Python, para usar la librería TextBlob (Loria, 2018), que incorpora una implementación de Naive Bayes, para calcular la polaridad como un número real en el rango de [-1, 1], donde 1 significa que la oración es positiva y -1 significa que la oración es negativa, y la subjetividad es un real entre [0,1], donde 0.0 indica que la oración es muy objetiva y 1.0 indica que la oración es muy subjetiva.

5.3. Interfaces finales de la herramienta

En la figura 6a, se presenta la interfaz principal de la herramienta de análisis de sentimientos propuesta en este artículo, que está conformada por tres pestañas: formulario, análisis de sentimientos y resultados gráficos.

En la pestaña de "Formulario", el coordinador de la prueba, selecciona el idioma de la prueba, seguidamente, se encuentran dos áreas de texto, la primera área está asociada a la respuesta de la pregunta: **¿Qué fue lo que más le gustó de la herramienta evaluada?,** y la segunda área, está asociada a la respuesta de la pregunta: **¿Qué fue lo que menos le gustó de la herramienta evaluada?**, las respuesta a las preguntas las puede diligenciar el coordinador de la prueba por cada uno de los usuarios. Al final del formulario se encuentran dos botones: el botón "Analizar", que permite el acceso a la segunda y tercera pestaña; y el botón "Limpiar", que borra los datos del formulario. En la figura 6b, se presenta la pestaña de "Análisis de Sentimientos", donde se aprecian los resultados del análisis de polaridad y subjetividad para las dos respuestas asociadas a cada usuario.

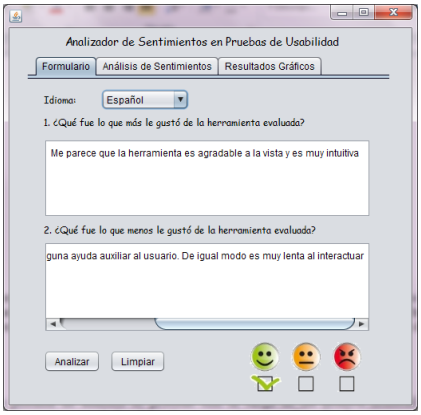


Figura 6a– Interfaz principal de la herramienta

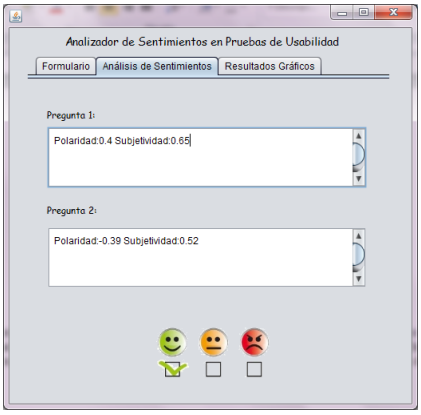


Figura 6b – Pestaña de análisis de sentimientos

Para hacer la conexión entre la aplicación de análisis de sentimientos desarrollada en Java, se invoca en segundo plano un Script en Python, el cual opera con ayuda de dos parámetros, el primer parámetro "op" hace referencia al tipo de idioma a usar, mientras que el segundo parámetro "cad" hace referencia al texto a analizar. Cuando el valor de "op" es 1, el idioma del texto será español, por lo que se procede primero a traducir el texto a inglés. Cuando el valor de "op" es 2, se procede directamente con el análisis de sentimientos del texto pasado como parámetro. El uso de los parámetros está sustentado en la necesidad de comunicar los lenguajes Java y Python.

La figura 7, presenta la pestaña de "Resultados Gráficos" que muestra la gráfica de la polaridad y subjetividad para cada una de las respuestas aportadas por cada usuario. Esta gráfica es generada a través de la API JFreechart de Java.

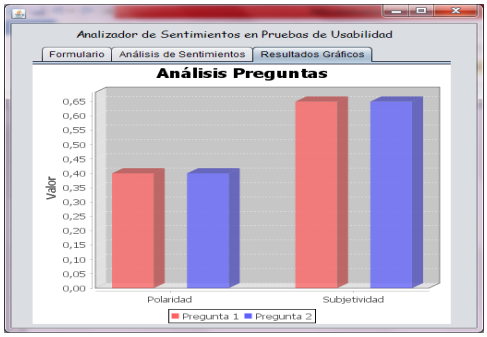


Figura 7 – Pestaña de resultados gráficos

6. Resultados

En la tabla 2, se presenta un resumen general de las observaciones aportadas por los usuarios de la prueba, teniendo en cuenta los principios de Nielsen, aplicados en la inspección de usabilidad realizada sobre la herramienta Pivot Portable 3.1.

Heurística	Descripción
H1	En la mayoría de las acciones la herramienta no presenta una retroalimentación de las acciones realizadas.
H2	El software tiene todas las opciones en inglés y no permite el cambio de idioma La herramienta hace uso de pocos íconos para representar las principales funcionalidades. En vez de esto hace uso de etiquetas con rótulos.
H3	La herramienta no cuenta con opciones para deshacer y rehacer las acciones realizadas.
H4	Para algunas de las opciones principales se hace uso de iconos y para otras opciones de rótulos.
H5	Ante un eventual error, la herramienta no presenta mensajes de ayuda que permitan solucionar de mejor forma los problemas de interacción.
H6	En caso de cerrar la herramienta, no se presenta ninguna ventana de confirmación.
H7	La herramienta no cuenta con iconografía estándar para este tipo de aplicaciones. La interfaz no es intuitiva en cuanto a la creación de una animación, por lo cual si se deja de usar es necesario recordar el funcionamiento nuevamente.
H8	La herramienta no cuenta con atajos para el manejo de acciones por parte de usuarios expertos.
H9	Varios de los botones asociados a las funciones principales no cuentan con un ícono y por tanto no son llamativos para el usuario.
H10	La herramienta no cuenta ni con ayuda, ni con documentación explícita. La herramienta no permite acceder a la documentación en línea.

Tabla 2 – Análisis de principios

Como se aprecia en la tabla 2, los usuarios no manifiestan satisfacción con el uso de la herramienta, siendo el problema más grave a criterio de los evaluadores, la imposibilidad de prevenir ciertos errores como el cerrar accidentalmente el programa o borrar el personaje. Se puede concluir que, en general, la herramienta Pivot 3.1, no cumple con los principios de Nielsen.

En la tabla 3 se presentan las opiniones de cada usuario a las dos preguntas realizadas al final de la inspección, los valores de polaridad y subjetividad de cada una de las respuestas obtenidas con la herramienta propuesta. Para realizar el análisis con la herramienta propuesta fue necesario adecuar la ortografía del texto y mejorar la redacción sin que las respuestas de los usuarios perdieran el sentido.

Usuario	Respuestas a las preguntas	Polaridad	Subjetividad
U1	1. La facilidad en el manejo del personaje, articulaciones y la facilidad de agregar más personajes en una misma escena, así como la posibilidad de cambiar del fondo.	0.25	0.3125
	2. El idioma del programa no es adecuado. De igual modo al inicio es difícil saber la funcionalidad de los botones y en algunos casos no se sabe para qué sirven.	-0.22	0.4861
U2	1. Que yo puedo darle muchas opciones e interacciones interesantes al personaje, tengo libertad para hacerlo a mi gusto.	0.4666	0.6
	2. No permite crear otro objeto o no tiene otras opciones para generar diferentes objetos.	-0.0625	0.4875

Usuario	Respuestas a las preguntas	Polaridad	Subjetividad
U3	1. Bastante sencilla. 2. Hacen falta muchas opciones.	0.125 0.5	0.678 0.5
U4	1. La interfaz de la herramienta es sencilla. 2. La interfaz de la herramienta es poco intuitiva, no existe ninguna manera de recuperase de errores, esta herramienta se basa en la prueba y el error.	0 -0.1	0.3571 0.3
U5	1. La interfaz de la herramienta es sencilla. 2. No es intuitiva, no es amigable con el usuario y no tiene apoyo para comprender las diferentes funcionalidades.	0 -09375	0.3571 0.55
U6	1. La herramienta me ha gustado porque puedo hacer una escena de movimientos como yo quiera. 2. la interfaz gráfica muy simple y los colores no son llamativos.	0.6 0.125	0.8 0.4821
U7	1. La herramienta cuenta con facilidad para manejar el personaje. 2. La herramienta no incluye la funcionalidad para agregar más objetos.	0.433 0.5	0.8333 0.5
U8	1. La herramienta permite crear animaciones interesantes que podemos usar para crear juegos. 2. La interfaz de usuario no se sencilla de entender y cuenta con varios errores de funcionalidad.	0.5 -0.108	0.5 0.4166
U9	1. Lo que más me ha gustado es la facilidad para hacer animaciones y la facilidad de uso. 2. Lo negativo de la herramienta es que no permite rehacer acciones, por ejemplo, al eliminar un fotograma.	0.55 -0.3	0.66 0.4
U10	1. Lo que más me ha gustado de la herramienta es su facilidad de uso y la facilidad para crear animaciones. 2. Lo que menos me ha gustado de la herramienta es que no tiene una buena interfaz, presenta muchos errores y sus imágenes e iconos no son adecuados.	0.55 0.266	0.65 0.5266

Tabla 3 – Análisis de sentimientos

En la tabla 3, se puede apreciar que: 1) La polaridad de la pregunta 1 para todos los usuarios es mayor o igual a cero, obteniendo que el 40% de las respuestas a la pregunta 1, son mayores o iguales a 0.5 y el 60% están por debajo de dicho valor, es decir, que no hay tendencia a la negativa, lo cual va totalmente de acuerdo con las respuestas de los usuarios. 2) La polaridad para la pregunta 2, oscila entre -0.9375 y 0.5, donde un 60% de las respuestas tienen polaridad negativa y 40% con polaridad positiva. 3) La subjetividad para la pregunta 1, indica que el 60% de las respuestas a la pregunta 1 fueron mayores o iguales a 0.5, obteniendo como valor máximo 0.833, es decir, una tendencia hacia la subjetividad y el 40% están por debajo de ese valor. 4) La subjetividad para la pregunta 2, muestra un comportamiento contrario al de la pregunta 1, es decir el 60% de respuestas fueron valores menores a 0.5 y el 40% para valores mayores o iguales a 0.5, lo cual se puede explicar en que los usuarios mencionaron aspectos concretos de la herramienta y al uso de términos en primera persona por parte de los usuarios en cada una de las respuestas a las preguntas.

En la figura 8, se apreciar el comportamiento de los resultados de polaridad y subjetividad obtenidos para cada pregunta y usuario, resaltando que la polaridad de la pregunta 2 para el usuario 5 tiene una marcada tendencia negativa que coincide con la radicalidad y negatividad de su respuesta, al mismo tiempo que, señala aspectos concretos de la herramienta, pero no soportados en hechos, por tanto, alcanza a tender un poco hacia la subjetividad.

En general, se puede apreciar que la polaridad de las preguntas 1 y 2, varía bastante de usuario en usuario, mientras que la subjetividad es un poco más estable, especialmente para la pregunta 2, lo cual es entendible dado que las respuestas de los usuarios son generales y no referencian alguna documentación específica, que soporte su opinión.

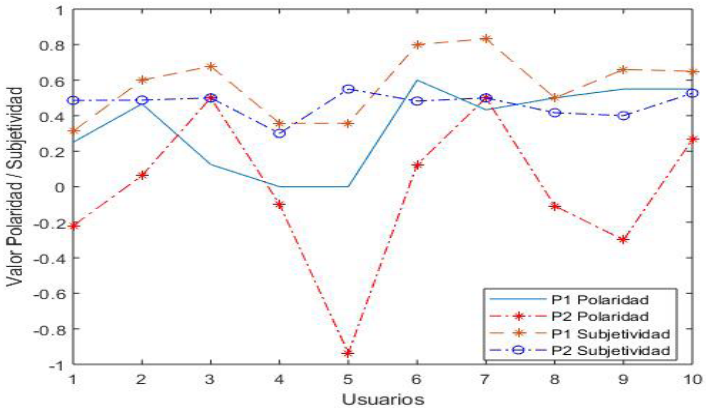


Figura 8 – Gráfica de polaridad y subjetividad

De los valores presentados en la Tabla 3, se obtienen los valores promedios de la polaridad y subjetividad obtenidas para cada pregunta (ver Tabla 4).

Pregunta	**Texto traducido**	
	Polaridad promedio	**Subjetividad promedio**
Pregunta 1	0,34746	0,57477
Pregunta 2	-0,03364	0,46489

Tabla 4 – Polaridad y Subjetividad promedio

Cabe resaltar que con estos resultados se ratifica que el análisis de sentimientos, en relación a polaridad y subjetividad realizado con la herramienta propuesta, concuerda en términos generales con los comentarios señalados por los usuarios (Tablas 2 y 3).

7. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se realizó un estudio del atributo satisfacción en pruebas de usabilidad, mediante el uso de una herramienta propuesta que utiliza una técnica de análisis de sentimientos, obteniendo que los resultados están acordes con lo expresado por los usuarios en las preguntas realizadas a la luz de los principios propuestos por Nielsen; lo cual se constituye en un importante aporte tanto en: 1) La evaluación del atributo satisfacción, al obtener indicadores más precisos como la polaridad y la subjetividad. 2) Como en la aplicación de análisis de sentimientos en diferentes contextos, como el caso de la interacción.

La herramienta de análisis de sentimientos se apoya en la librería TextBlob de Python, y fue utilizada después de la inspección de usabilidad realizada a la herramienta Pivot Portable 3.1, obteniendo que la polaridad y la subjetividad del texto asociado, concuerda la percepción de los usuarios en el cuestionario.

Por lo anterior, se puede concluir que la herramienta Pivot Portable 3.1, incumple todos los principios de usabilidad, el nivel de aceptación del usuario podría relacionarse con la polaridad promedio (30%) obtenida para la pregunta 1 y la subjetividad obtenida en la prueba, se fundamentan en el uso de la primera persona en las opiniones de los usuarios.

A futuro, se pretende ampliar el estudio realizado a la evaluación de otras herramientas de diferentes contextos de aplicación y a la incorporación de diferentes técnicas de análisis de sentimientos a la herramienta propuesta, con el fin de contrastar los resultados obtenidos en la presente investigación e incrementar las potencialidades de la herramienta construida.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Cartagena, a la Universidad del Quindío y a la Universidad del Cauca, por toda su colaboración.

Referencias

Arancibia, D., & González, S. (2017). *Heurísticas de Usabilidad y Experiencia del Usuario en Redes Sociales*. Valparaiso-Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaiso.

Baldasarri, S. (2016). Computación Afectiva: tecnología y emociones para mejorar la experiencia. *Revista Institucional de la Facultad de Informática - UNLP*, 14-15.

Chang, E., & Dillon, T. S. (2006). A Usability-Evaluation Metric Base on a Soft-Computing. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, part A: Systems and Humans, 36*(2), 356-372.

Delgado, D., Girón, D., Chanchí, G., & Márceles, K. (2018). Propuesta de una herramienta para la estimación de la satisfacción en pruebas de usuario, a partir del análisis de expresión facial. *Revista Colombiana de Computación*, 6-15.

Enriquez, J., & Casas, S. (2013). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informe Científico Técnico UNPA*, 25-47.

González, R. (2017). Computación Afectiva: Una mirada a la historia, aplicaciones y proyecciones. *Revista Bits de Ciencia - Universidad de Chile* , 64-71.

Grau, J. (2007). Pensando en el usuario: la usabilidad. *Anuario: Think EPI*, 172-177.

Hassan, Y. (2015). *Experiencia de Usuario: Principios y Métodos*. Granada-España.

Hassan, Y., & Martín, F. (2003). Más allá de la Usabilidad: Interfaces 'afectivas'. *No solo usabilidad*.

Loria, S. (2018). *TextBlob*. Obtenido de https://textblob.readthedocs.io/en/dev/quickstart.html#sentiment-analysis

Martínez, E., Martín, M., & Ureña, L. (2014). *Análisis de Sentimientos*. Jaén-España: Universidad de Jaén.

Mascheroni, M., Greiner, C., Petris, R., Dapozo, G., & M., E. (2012). Calidad de software e Ingeniería de Usabilidad. *XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. La Plata.

Montesinos, L., & Orchard, M. (2014). *Análsis de sentimientos y predicción de eventos en twitter*. Santiago de Chile-Chile: Universidad de Chile.

Nielsen, J. (1994). *Usability Inspection Methods*. Nielsen Norman Group. Obtenido de 10 Usability Heuristics for User Interface Design: https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/

Pérez, M., García, M., & Hernández, J. (2015). Consideraciones especiales para realizar pruebas de usabilidad con niños: Caso de Estudio. *Revista ReCIBE*.

Preece, J. (1994). *Human Computer Interaction (ICS)*. Addison-Wesley.

Ravi, K., & Ravi, V. (2015). A survey on opinion mining and sentiment analysis: Tasks, approaches and applications. *Knowledge-Based Systems, 89*, 14-46. doi:https://doi.org/10.1016/j.knosys.2015.06.015

Schall, A. (2015). Develando las emociones reales de nuestros usuarios: el futuro de la investigación de experiencia del usuario. *Revista de la Asociación de Profesionales de Experiencia de Usuario, 15*(2).

Sobrino, J., & Kanaan, S. (2018). *Análisis de sentimientos en twitter*. Universidad Oberta de Catalunya.

Solis Tech. (2016). *Human Computer Interaction - The fundamentals made easy*. CreateSpace Independent Publishing Platform .

SourceForge. (2019). *SourceForge* [Internet]. Recuperado de https://sourceforge.net/projects/pivotportable/

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 30/06/2019
Aceitação/Acceptance: 21/09/2019

Clasificadores para el Análisis de Sentimientos en Twitter: una revisión

Jason-Paul Anturi-Martínez[1,2], Jose-Luis Paz-Realpe[1,2], Jimena-Adriana Timaná-Peña[2], Carlos Cobos[2]

jpanturi@unicauca.edu.co, jlpaz@unicauca.edu.co, jtimana@unicauca.edu.co, ccobos@unicauca.edu.co

[1] Programa de Ingeniera de Sistemas, Universidad del Cauca, Calle 5 N° 4-70, código postal 190003, Popayán, Colombia.

[2] Grupo de I+D en Tecnologías de la Información (GTI), Universidad del Cauca, Sector Tulcán Edificio FIET Oficina 448, código postal 190003, Popayán, Colombia.

Pages: 353–366

Resumen: Twitter se ha convertido en una de las plataformas más importantes de Microblogging. A través de ella, millones de usuarios pueden compartir intereses, actividades, contenidos e intercambiar experiencias y opiniones. Los tuits pueden ser analizados y evaluados por clasificadores de sentimientos que determinan su polaridad (positiva, negativa o neutral) en función de su contenido. Clasificar un mensaje automáticamente es una tarea tan compleja como lograr que un grupo de personas se pongan de acuerdo en la clasificación de un mensaje dado. La interpretación de cada mensaje puede variar debido al factor cultural y experimental de cada persona, afectando directamente su significado. En este documento se propone una revisión sistemática donde se identifican y describen los mejores clasificadores (herramientas, servicios, librerías, marcos de trabajo, o APIs) de sentimientos en Twitter con respecto a la medida de calidad F1 y una serie de criterios de calidad definidos siguiendo los lineamientos propuestos por Kitchenham.

Palabras-clave: Análisis de sentimientos; clasificadores; Twitter; polaridad.

Classifiers for Sentiment Analysis on Twitter: a review

Abstract: Twitter has become one of the most important platforms in Microblogging. Through it, millions of users can share interests, activities, content and exchange experiences and opinions. Tweets can be analyzed and evaluated by sentiment classifiers that determine their polarity (positive, negative or neutral) based on their content. Classifying a message automatically is such a complex task as getting a group of people to agree on the classification of a given message. The interpretation of each message may vary due to the cultural and experimental factor of each person, directly affecting its meaning. This document proposes a systematic review that identifies and describes the best classifiers (tools, services, libraries,

frameworks, or APIs) of feelings on Twitter regarding the measure of quality F1 and a series of quality criteria defined according to the Kitchenham guidelines.

Keywords: Sentiment Analysis; classifiers; Twitter; polarity.

1. Introducción

Realizar el proceso de análisis de sentimientos en mensajes publicados por los usuarios en sitios de Microblogging como Twitter, puede ofrecer grandes posibilidades (Liu, 2015), como comprender la tendencia del sentimiento social hacia una marca, persona o empresa en particular, también para filtrar o eliminar mensajes ofensivos publicados por los usuarios.

Sin embargo, la tarea de identificar y clasificar correctamente la polaridad de un mensaje como positivo, negativo o neutro (Sygkounas, E. Rizzo, G. Troncy, R., 2016), es una tarea compleja que aborda entre otros aspectos el manejo de la sintaxis y la semántica. En la sintaxis se debe tener en cuenta la forma cómo está escrito el mensaje, es decir, la estructura gramatical usada y si ésta incluye emoticonos, contracciones y elongaciones en las palabras. Por otra parte, la semántica se relaciona con la interpretación del mensaje, muchas veces ésta es subjetiva, debido a la cosmovisión de cada individuo que a la vez es afectada por factores culturales y modismos característicos de una región.

Acerca del contenido y la estructura de los mensajes de Twitter conocidos como tuits[1], se suelen encontrar distintas formas de expresión usadas por los usuarios en sus mensajes, por lo que es frecuente encontrar palabras que cambian de significado cuando son combinadas con emoticones o acrónimos, expresiones escritas en forma de pregunta, con sarcasmo o ironía y hasta expresiones que cambian de significado según la localización geográfica. Por lo tanto, interpretar y analizar este tipo de mensajes resulta una tarea desafiante (Tang, 2015).

Investigaciones recientes que incluyen algoritmos que usan técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para el análisis de sentimientos en texto han sido usados para la clasificación de la polaridad de un mensaje (López et al., 2018).

En el caso particular de Twitter, la compañía ha implementado una herramienta que permite restringir publicaciones con contenido inapropiado, pero sin que el propietario de la cuenta se entere que su tuit fue censurado. Esto ha desatado controversias debido a la falta de certeza para identificar contenidos inapropiados, lo que ha conllevado a clausurar o penalizar cuentas por un tiempo indefinido. Además, las medidas implementadas por Twitter podrían no ser las más adecuadas para la eliminación de contenido geográficamente inapropiado, ya que basta tan solo con cambiar la ciudad de origen de la cuenta para que cualquier persona incluyendo niños y adolescentes les sea permitido leerlo (ver detalles en https://help.twitter.com/en/rules-and-policies/tweet-withheld-by-country).

[1] Tuit: m. Mensaje digital que se envía a través de la red social Twitter® y que no puede rebasar un número limitado de caracteres.

En este artículo se identifican y se describen los mejores clasificadores de polaridad en Twitter y en análisis de sentimientos con respecto a la medida de calidad F1 y una serie de criterios de calidad que fueron definidos siguiendo los lineamientos de Kitchenham et al. (2010) a partir de una exhaustiva revisión sistemática. La estructura del documento está organizada de la siguiente manera: La sesión 2 describe la metodología utilizada para realizar la revisión sistemática, luego la sección 3 presenta los resultados de la revisión sistemática, después, la sección 4 muestra las tendencias y los retos más importantes del área y finalmente, en la sesión 4 se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

2. Metodología

En esta sección se presenta el proceso que se llevó a cabo para la realización de la revisión sistemática de la literatura científica y de algunos documentos de literatura gris.

2.1. Proceso de búsqueda de literatura científica

La revisión sistemática de la literatura científica está basada en los lineamientos propuestos por Kitchenham et al. (2010) y se realizó usando la base de datos de Scopus. En este proceso se define un protocolo que incluye la definición de: 1. Palabras clave, 2. Cadenas de búsqueda, 3. Criterios de selección, y 4. Criterios de selección de los documentos a incluir en el estudio.

2.1.1. Palabras clave

Las palabras claves vienen dadas en relación con el estudio de investigación con los resultados que se desean obtener, las palabras claves presentadas en la tabla 1 fueron de utilidad para construir la cadena de búsqueda.

2.1.2. Cadena de búsqueda

En el proceso de construcción de la cadena de búsqueda se tuvieron en cuenta ciertos aspectos: i) Las palabras clave categorizadas en el contexto "Área" fueron el foco principal para la búsqueda, es decir, los estudios que en términos generales abarcan el área de minería de opinión y de análisis de sentimientos, ii) Las palabras clave que están dentro de la categoría "Área" son utilizadas como filtros o términos alternos, lo que significa obtener resultados más exactos, y iii) Los sinónimos o palabras clave de la misma categoría se separan con OR, y las palabras claves de distinta categoría se separan con AND.

Contexto	Palabras claves
Área	"sentiment analysis", "opinion mining"
Criterio de clasificación	"polarity"
Clasificadores de sentimiento	"sentiment classifier", "method", "service", "library", "algorithm", "framework", "tool"
Plataforma social de estudio	"microblogging", "twitter"

Tabla 1 – Definición de palabras claves.

La cadena de búsqueda resultante de acuerdo con los términos de la tabla 2 fue:

("sentiment analysis" OR "opinion mining" AND (("method" OR "model" OR "tool" OR "service" OR "library" OR "algorithm") AND "polarity" AND "twitter")).

Terminos principales	**Terminos alternativos**
Análisis de sentimiento	"sentiment analysis", "opinion mining"
Clasificadores de sentimiento	"sentiment classifier", "method", "service", "library", "algorithm", "framework", "tool"
Clasificadores de sentimientos	"polarity"
Plataforma social de estudio	"twitter" OR "tweet"

Tabla 2 – Definición de cadena de búsqueda.

2.1.3. Criterios de selección

Los criterios de selección (inclusión, exclusión) permitieron filtrar y escoger los artículos científicos que resultaron de la cadena de búsqueda planteada en el paso anterior (sección 2.1.2) y se presentan en la tabla 3.

De los criterios de calidad de la tabla 3, el puntaje total para evaluar una propuesta viene dado por la ecuación (1).

$$P = QA1 + QA2 + QA3 + QA4 + QA5 + QA6 + QA7 \quad (1)$$

donde P es el puntaje total y QAn es el puntaje obtenido en cada criterio.

2.2. Proceso de búsqueda de literatura gris

La revisión sistemática de la literatura gris se realizó en dos fases, la primera basada en los lineamientos propuestos por Kitchenham et al. (2010) y la segunda basada en la estrategia bola de nieve. Estas dos fases fueron realizadas en el motor de búsqueda de google. En este proceso se define un protocolo de revisión para páginas web, que incluye la definición de: **1.** Palabras clave, **2.** Cadena de búsqueda, **3.** Criterios de inclusión, exclusión y Criterios de calidad.

Inclusión	**Exclusión**	**Calidad**
Publicados desde 2012 hasta la fecha (2019).	Artículos cortos, revisiones (reviews), conference review, opiniones.	QA1: ¿La propuesta se puede implementar sólo a través del diseño presentado en su investigación? Las respuestas posibles son: (Si +1.5 | No +0).
Los artículos o tesis que estén en idioma inglés.	Investigación duplicada del mismo autor.	QA2: ¿La propuesta cuenta con un método de validación realizado a través de un estudio de caso o experimento? (Si +1 | No +0).

Artículos completos (full papers), tesis, conference papers, books, book chapter.	Contenido repetido en artículos similares.	QA3: ¿La propuesta presenta resultados detallados y obtenidos durante el método de validación? (Si +1 | No +0).
Investigaciones que involucran datasets en idioma inglés.	Propuestas que contengan procesos de implementación y diseños de estudio sin estar claramente fijados o definidos.	QA4: ¿La propuesta presenta resultados de precisión detallados como la medida F1, recall y accuracy obtenidas durante el método de validación? (Presenta todas las medidas +1 | Presenta al menos dos medidas 0.5 | No presenta más de una medida +0).
Propuestas centradas en clasificación de polaridad.		QA5: ¿La propuesta está asociada al cálculo de polaridad en análisis de sentimiento con datasets que contienen mensajes de texto plano? (Si +1 | No +0).
		QA6: ¿La propuesta presenta información de tuits con medidas de precisión y polaridad? (Si +2 | No +0).
		QA7: ¿La propuesta ha sido publicada en una conferencia o revista relevante para la comunidad científica considerando los índices JCR para revistas y CORE para conferencias? (Q1/A* +2 | Q2/A +1.5 | Q3/B +1 | Q4/C 0.5 | Sin categoría +0)

Tabla 3 – Criterios de selección.

2.2.1. Palabras clave de literatura gris

Las palabras claves vienen dadas en relación con el estudio de investigación con los resultados que deseamos obtener, las palabras clave de la tabla 4 fueron de utilidad para construir la cadena de búsqueda. Las palabras en negrilla se diferencian a las usadas previamente en la literatura científica y buscan dar prioridad a la búsqueda de herramientas, servicios, librerías y APIs ofrecidas por diferentes instituciones que se puedan usar sin incurrir en costo o pago de un servicio.

Contexto	**Palabras claves**
Área	"sentiment analysis", "opinion mining", "text analytics"
Criterio de clasificación	"polarity"
Clasificadores de sentimiento	**"tool", "service", "library", "API"**
Plataforma social de estudio	"microblogging", "twitter"

Tabla 4 – Definición de palabras claves literatura gris.

2.2.2. Cadena de búsqueda de literatura gris

En el proceso de construcción de la cadena de búsqueda se tuvieron en cuenta los mismos aspectos presentados en la sección 2.1.2. Es preciso tener en cuenta que en Google las

palabras dentro de comillas (“”) se usan para realizar una búsqueda específica de un término compuesto, debido a que, separar las palabras con un espacio se interpreta como palabras claves de distinta categoría (detalles en https://support.google.com/websearch/answer/2466433).

La cadena de búsqueda usando los términos de la tabla 5 fue:

“sentiment analysis” OR “opinion mining” OR “text analytics” “classifier” “API” “tool” “service” “library”

Terminos principales	Terminos alternativos
Análisis de sentimiento	“sentiment analysis”, “opinion mining”, “text analytics”
Clasificadores de sentimiento	“API”, “classifier”, “tool”, “service”, “library”

Tabla 5 – Búsqueda de cadena literatura gris.

2.2.3. Criterios de selección de literatura gris

Los criterios de selección permitieron filtrar y escoger los clasificadores de polaridad en análisis de sentimientos que resultaron de la cadena de búsqueda planteada en el paso anterior (sección 2.2.2).

Inclusión	Exclusión	Calidad
Permita al usuario calcular la polaridad de una cadena de texto ingresada.	Versiones de pago.	QA1: ¿La propuesta calcula la polaridad de más de una palabra? Las respuestas posibles son: (Permite cargar un dataset completo +2 | Calcula la polaridad de un mensaje +1 | No +0).
La propuesta debe contar con un prototipo software que puede ser utilizado como aplicación web o descargado como aplicación de escritorio.	Que no sea posible usar el prototipo software con datasets o cadenas en inglés.	QA2: ¿La propuesta presenta resultados detallados después de calcular la polaridad? Las respuestas posibles son: (Si +1 | No +0).
La documentación sobre el proceso de desarrollo de la propuesta debe estar publicada en su página.		QA3: ¿El ingreso de emoticones dentro de la cadena de texto a clasificar influye directamente en el cálculo de la polaridad? Las respuestas posibles son: (Si +0 | No +1).
		QA4: ¿La propuesta presenta en los resultados de precisión alguna medida como F1 score, recall y accuracy obtenidas al clasificar la polaridad? (Presenta al menos una +1 | Presenta una medida diferente +0.5 | No presenta ninguna medida de precisión +0).
		QA5: ¿La propuesta brinda soporte para ser implementada o consumida desde una aplicación externa? (Ofrece soporte +2 | No se puede utilizar con otras aplicaciones +0).

Tabla 6 – Criterios de selección de literatura gris.

De la tabla 6 se usa la columna de criterios de calidad para calcular el puntaje total de cada propuesta conforme se presenta en la ecuación (2).

$$P = QA1 + QA2 + QA3 + QA4 + QA5 \quad (2)$$

donde P es el puntaje total y QAn es el puntaje obtenido en cada criterio.

3. Resultados

3.1. Literatura científica

Los artículos resultantes en la revisión sistemática fueron seleccionados mediante cuatro fases: Listado de artículos provenientes de una cadena de búsqueda, filtrado de artículos potenciales, aplicación de criterios de inclusión/exclusión y selección de artículos finales de acuerdo con los criterios de calidad establecidos. En la primera fase, se usó la cadena de texto para realizar la búsqueda en el indexador de artículos Scopus, la cual obtuvo como resultado una lista de estudios y propuestas que tienen como foco el Análisis de Sentimiento (Sentiment Analysis) y clasificadores de polaridad en Twitter con un total de 311 artículos. En la segunda fase, se seleccionaron los artículos potenciales que fueron obtenidos después de filtrar las propuestas investigativas que contenían al menos dos palabras claves en el título y tres en el resumen (abstract), en el proceso se obtuvo un total de 159 artículos. En la tercera fase, se aplicaron una serie de criterios de inclusión y exclusión a los artículos potenciales que permitió obtener los artículos directamente relacionados con la temática del trabajo investigativo con un resultado total de 20 artículos. En la fase final, se aplicó los criterios de calidad a los artículos resultantes, obteniendo como resultado una lista de propuestas valoradas y ordenadas de mayor a menor. La valoración de la lista se obtuvo mediante la suma total de los puntos de medida establecidos en cada criterio de calidad (ver tabla 7).

Titulo - referencia	**Revista/Conferencia | JCR - año**	**Algoritmo / Herramienta**	**Puntaje**
Towards Twitter sentiment classification by multi-level sentiment-enriched word embeddings (Xiong et al., 2018)	Neurocomputing | Q1 -2018	Support Vector Machine (SVM) y Red Neuronal que maneja n-gramas	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 + 2 = **6.0**
A New Method for Sentiment Analysis Using Contextual Auto-Encoders (Ameur et al., 2017)	Journal of Computer Science and Technology | Q3 - 2018	Support Vector Machine (SVM) y Red Neuronal (Auto enconder recursivo contextual)	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = **5.0**
Deep Learning Techniques for Polarity Classification in Multimodal Sentiment Analysis (Mahendhiran & Kannimuthu, 2018)	International Journal of Information Technology and Decision Making | Q1 - 2018	Redes Neuronales Profundas	P = 0 + 1 + 1 +1 + 0 + 2 = **5.0**
Incorporation of target specific knowledge for sentiment analysis on microblogging (Kaewpitakkun & Shirai, 2016)	IEICE Transactions on Information and Systems | Q3 - 2016	Support Vector Machine (SVM) y Lexicon	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = **5.0**

Titulo - referencia	Revista/Conferencia | JCR - año	Algoritmo / Herramienta	Puntaje
Modelling public sentiment in twitter: Using linguistic patterns to enhance supervised learning (Chikersal et al., 2015)	Lecture Notes in Computer Science | Sin rango - 2015	Support Vector Machine (SVM) con n-gramas, reglas de emoticones y Lexicón	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 = **4.0**
Sentiment Analysis in Twitter with Lightweight Discourse Analysis (Mukherjee & Bhattacharyya, 2012)	International Conference on Computational Linguistics | A - 2012	Support Vector Machine (SVM), Relaciones del Discurso y reglas correspondientes	P = 0 + 1 + 1 + 0 + 0 + 1.5 = **3.5**
TOM: Twitter opinion mining framework using hybrid classification scheme (Khan et al., 2014)	Decision Support Systems | Q1 - 2014	Preprocesamiento mejorado y Ensamble de Enhanced Emoticon Classifier, Improved Polarity Classifier y SentiWordNet	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2 = **6.0**
An Ensemble Classification System for Twitter Sentiment Analysis (Ankit & Saleenaa, 2018)	Procedia Computer Science | Sin rango - 2018	Ensamble de clasificadores (Naive Bayes, Random Forest, Support Vector Machine, Logistic Regression)	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 = **4.0**
Sentiment polarity detection from Amazon reviews: An experimental study (Sygkounaset al., 2016)	Communications in Computer and Information Science | Sin rango - 2016	Ensamble de 5 clasificadores basado de agregación Bootstrap de n-gramas con información semántica	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 = **4.0**
Tweet sentiment analyzer: Sentiment score estimation method for assessing the value of opinions in tweets (Raja & Swamynathan, 2016a)	ACM International Conference Proceeding Series | Sin rango - 2016	Método propio apoyado en el clasificador SentiWordNet	P = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 2 + 0 = **5.0**
Twitter Sentiment Analysis for Large-Scale Data: An Unsupervised Approach (Pandarachalil et al., 2015)	Cognitive Computation | Q1 - 2015	Método propio no supervisado basado en Lexicones (SenticNet, SentiWordNet, SentislangNet)	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 2 = **5.0**
A Real-Time Twitter Sentiment Analysis using an unsupervised Method (Azzouza et al., 2017)	ACM International Conference Proceeding Series | Sin rango - 2017	Método propio no supervisado basado en estandarización de nombres, análisis de emoticones y medición de polaridad	P = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 2 + 0 = **5.0**
Sentiment Analysis of Real Time Twitter Data Using Big Data Approach (Rodrigues et al., 2017)	Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions | Sin rango - 2017	Método propio basado en Lexicón	P = 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 2 + 0 = **4.0**
Efficient and parallel framework for analyzing the sentiment (Sharma & Nayak., 2017)	Advances in Intelligent Systems and Computing | Sin rango - 2017	Naïve Bayes enriquecido con SentiWordNet	P = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 0.5 = **3.5**

Titulo - referencia	Revista/Conferencia | JCR - año	Algoritmo / Herramienta	Puntaje
Twitter sentiment analysis with a deep neural network: An enhanced approach using user behavioral information (Sulaiman et al, 2019)	Cognitive Systems Research | Q4 - 2019	Rede Neuronal Convolucional (CNN)	P = 0 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0.5 = **3.5**
Efficient Twitter sentiment classification using subjective distant supervision (Sahni et al., 2017)	International Conference on Communication Systems and Networks | Sin rango - 2017	Regresión Logística con n-gramas y una medida de la efectividad de una palabra	P = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 0 = **3.0**
Tweet analyzer: Identifying interesting tweets based on the polarity of tweets (Raja & Swamynathan, 2016b)	Advances in Intelligent Systems and Computing | Sin rango - 2016	J48 y 1-nn entrenados con las palabras que reportan mayor polaridad	P = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 0 = **3.0**
Enhanced Framework for Sentiment Analysis in Text using Distance based Classification Scheme (Angadi & Reddy, 2018)	International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications | Sin rango - 2018	Método propio de clasificación basado en distancia enriquecido con SentiWordNet y Lexicón de opinión	P = 0 + 1 + 0 + 0.5 + 1 + 0 = **2.5**
Sentiment analysis of Twitter data: Case study on digital India (Mishra et al., 2016)	International Conference on Information Technology | C - 2016	Enfoque basado en diccionarios de polaridad de palabras	P = 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0.5 = **2.5**
Sentiment analysis on twitter using streaming API (Trupthi et al., 2017)	International Advance Computing Conference | Sin rango - 2017	Naive Bayes	P = 0 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 = **2.0**

Tabla 7 – Resultados literatura científica

El conjunto de propuestas estudiadas en la revisión sistemática de literatura científica presenta diversos algoritmos y/o herramientas en el proceso de clasificación de polaridad, se resalta el uso de Support Vector Machines (SVM), técnica de Aprendizaje Profundo (Deep Learning) como clasificador o para representar las palabras (incrustaciones o embeddings), el uso de Ensambles basados en clasificadores clásicos y el uso de Lexicones y diccionarios de polaridad tanto de palabras como de emoticones.

El proceso de evaluación de las propuestas seleccionadas como estudios primarios de calidad son las que superen o igualen el valor de calidad mínimo calculado en **6.0**. El método de cálculo del puntaje de calidad mínimo se explica a continuación:

La suma de QA2, QA3, QA4 y QA5 debe ser 4, QA6 debe ser 2. Para QA1 Y QA7 se tiene dos escenarios. El primer escenario (a) en donde QA1 es como mínimo 0.5 y QA6 es 2.0; el segundo escenario (b) en donde QA6 es como mínimo 1 y QA1 es 1.5. Los dos escenarios vienen dados por la siguiente expresión:

$$QA1(+0.5) + [QA2 + QA3 + QA4 + QA5] (+4) + QA6(+2) = 6.0 \quad (3)$$

$$QA1(+1.5) + [QA2 + QA3 + QA4 + QA5] (+4) + QA6(+1) = 6.0 \quad (4)$$

De esta manera se ha dado más peso e importancia a los criterios QA1 Y QA6, debido a que la complejidad en el proceso de implementación y el nivel de confianza al momento de emplear tiempo en desarrollo, dependen directamente de éstos.

3.2. Resultados literatura gris

Las propuestas resultantes en la revisión de literatura gris fueron seleccionadas mediante cuatro fases: Listado de sitios web provenientes de una cadena de búsqueda, aplicación de criterios de inclusión/exclusión y selección de artículos finales de acuerdo con los criterios de calidad establecidos. En la primera fase, se usó una cadena de texto en el motor de búsqueda de Google, de la cual se obtuvieron 169.000 resultados, además se aplicó la estrategia bola de nieve para seleccionar las propuestas que posiblemente serían candidatas como estudios potenciales. Para la segunda fase, se aplicaron una serie de condiciones dentro del proceso de selección preliminar, las que permitieron seleccionar las propuestas que tuvieran una palabra clave en el título y tres en la descripción, en el proceso se obtuvieron 24 clasificadores. En la tercera fase, se aplicó una serie de criterios a la lista de clasificadores potenciales que permitió incluir o excluir las propuestas convenientes para responder la pregunta de investigación. En la fase final, se aplicó los criterios de calidad a los clasificadores resultantes, obteniendo como resultado una lista de clasificadores valorados y ordenados de mayor a menor por el puntaje de calidad calculado. La valoración de calidad de los clasificadores se obtuvo mediante la suma total de los puntos de medida establecidos en cada criterio de calidad. Los resultados se presentan en la tabla 8.

Nombre	**Desarrollador**	**Algoritmo / Herramienta**	**Formato de despliegue**	**Puntaje**
Natural Language Understanding	(Watson IBM, 2019)	IBM Cloud API	Web	P = 1 + 1 + 0 + 0.5 + 2 = **4.5**
Sentiment Analysis	(Monkeylearn, 2019)	MonkeyLearn API	Web	P = 1 + 0 + 1 + 0.5 +2 = **4.5**
Text analytics	(Microsoft Azure, 2019)	Azure Cognitive Services	Web	P = 1 + 1 + 0 + 0.5 + 2 = **4.5**
Python NLTK Text Classification	(NLTK, 2018)	Sentiment Analysis API	Web	P = 1 + 0 + 1 + 0 +2 = **4.0**
Text Analysis API Demo	(SummarizeBot, 2019)	Text Analysis API	Web	P = 1 + 0 + 1 + 0 + 2 = **4.0**
Sentiment	(uClasificar, 2019)	UClassify API	Web	P = 1 + 1 + 0 + 0 + 2 = **4.0**
Linguakit	(Linguakit, 2019)	ClienisAPI	Web	P = 1 + 1 + 1 + 0.5 + 0 = **3.5**
Text analytics Demo	(ParallelDots, 2019)	ParallelDots API	Web	P = 1 + 1 + 0 + 0.5 + 0 = **2.5**
Tweepy	(TextBlob, 2019)	Naive Bayes	Escritorio	P = 1 + 0 + 1 + 0.5 + 2 = **4.5**

Tabla 8 – Resultados literatura gris.

El conjunto de propuestas estudiadas en la revisión sistemática de literatura gris sólo presenta ocho servicios o APIs en el proceso de clasificación de polaridad y un algoritmo de clasificación conocido como Tweepy. Utilizar los servicios que ofrecen las distintas APIs encontradas es una gran ventaja con respecto al desarrollo de un clasificador si no se tiene mucho conocimiento en inteligencia artificial y procesamiento de lenguaje natural. Este tipo de servicios también tiene una limitación para el área de desarrollo, no es posible acceder al código fuente del algoritmo clasificador, lo que significa que no es posible que terceras personas puedan desarrollar versiones mejoradas.

El proceso de evaluación de las propuestas de calidad seleccionadas son las que superan o igualan el valor de calidad mínimo calculado en **4.5**. El método de cálculo del puntaje de calidad mínimo se explica a continuación:

La suma de QA1, QA2 y QA3 debe ser 2, QA4 y QA5 debe ser como mínimo 0.5 y 2 respectivamente.

$$[QA1 + QA2 + QA3] (+2) + QA4 (+0.5) + QA5(+2) = 4.5 \quad (5)$$

De esta manera se otorga más peso e importancia al criterio QA5, debido a que es el que permite conocer la posibilidad de utilizar los datos arrojados como resultado desde una aplicación externa para el desarrollo del trabajo investigativo propuesto.

4. Tendencias y retos

El preprocesamiento de datos es una etapa fundamental en el proceso de extracción de conocimiento, cuyo objetivo principal es obtener un conjunto de datos final que sea de calidad y útil para la fase de extracción de conocimiento (Villegas et al., 2018). Actualmente en análisis de sentimientos se utilizan algoritmos que realizan el preprocesamiento de los datos debido a que los mensajes contienen mala ortografía, elongaciones, jergas, hashtags, contexto, sarcasmo, abreviaciones, siglas, contracciones, entre muchas otras más. Por lo anterior se realiza el preprocesamiento de los mensajes como primera instancia para realizar una mejor clasificación de la polaridad. Sin embargo, sería interesante observar la clasificación de un mensaje sin realizar previamente un preprocesamiento del mensaje utilizando algoritmos de Redes Neuronales Diferenciales o por medio de técnicas de lógica difusa. Las Redes Neuronales Diferenciales son utilizadas para la descripción y análisis del comportamiento de sistemas inteligentes a través de la interacción conjunta de muchas partes, son útiles por simular el pensamiento de un humano, de aprender de los errores y experiencias pasadas con palabras que no conoce, lo que podría ser una buena solución para adaptarse a textos con distinto significado según el contexto (Sun et al., 2016). Por otro lado las técnicas de lógica difusa hacen uso de una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento que al aplicarse a conceptos pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro del conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta o la falsedad total, estas no necesitan de un modelo de entrenamiento para tomar decisiones, las reglas son rápidas de implementar

y flexibles al paso del tiempo, por lo que si hay palabras, términos o jerga nueva no sea necesario estar re entrenando el modelo (Haque & Rahman, 2014).

5. Conclusiones

En este documento, se propone una revisión sistemática de clasificadores de polaridad en análisis de sentimientos, tanto en la literatura científica basados en los lineamientos de Kitchenham et al. (2010) como también en la literatura gris, la cual fue realizada con base en Kitchenham y el método de bola de nieve. Mediante esta investigación es posible conocer la estructura de los clasificadores y saber qué tipos de algoritmos se utilizan en el proceso de clasificación, lo que permitió concluir que la mayoría usan técnicas de preprocesamiento de datos para normalizar los mensajes antes del proceso de clasificación y entregar resultados de polaridad más precisos con respecto a otros clasificadores de sentimientos. Los resultados obtenidos después de realizar el proceso de búsqueda y selección aplicando la cadena de búsqueda seleccionada y los diferentes criterios propuestos se observa que, seis clasificadores superan el cálculo del puntaje de calidad mínimo establecido y que no se encontraron resultados de clasificadores que utilicen técnicas de lógica difusa en el proceso del cálculo de la precisión de polaridad en análisis de sentimiento.

Referencias

Angadi, S., & Reddy, R.V.S. (2018). Enhanced framework for sentiment analysis in text using distance based classification scheme. In *Proceedings of the Second International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAECC)*. (pp. 1-6). Bangalore, India: IEEE.

Ankit., & Saleenaa, N. (2018). An ensemble classification system for Twitter sentiment analysis. *Procedia Computer Science, 132*, 937-946.

Ameur, H., Jamoussi, S., & Ben Hamadou, A. (2017). A new method for sentiment analysis using contextual auto-encoders. *Journal of Computer Science and Technology, 33*(6), 1307–1319.

Azzouza, N., Akli-Astouati, K., Oussalah, A., & Ait-Bachir, S. (2017). A real-time Twitter sentiment analysis using an unsupervised method. In *Proceedings of the 7th International Conference on Web Intelligence (WIMS)*. (pp. 15:1-15:10). Amantea, Italy: ACM.

Chikersal, P., Poria, S., Cambria, E., Gelbukh, A., & Siong, C. (2015). Modelling public sentiment in Twitter: using linguistic patterns to enhance supervised *learning*. *Lecture Notes in Computer Science, 9042*, 49-65.

Haque, A., & Rahman, T. (2014). Sentiment analysis by using fuzzy logic. *International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology, 4*(1), 33-48.

Kaewpitakkun, Y., & Shirai, K. (2016). Incorporation of targe specific knowledge for sentiment analysis on microblogging. *IEICE Transactions on Information and Systems, E99.D*(4), 959-968.

Khan, F., Bashir, S., & Qamar, U. (2014). TOM: Twitter opinion mining framework using hybrid classification scheme. *Decision Support Systems 57*, 245–257.

Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Brereton, P., Turner, M., Niazi, M., & Linkmana, S. (2010). Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study. *Information and Software Technology, 52*(8), 792-805.

Linguakit. (2019). Linguakit análisis completo. Obtenido de https://linguakit.com/es/analisis-completo.

Liu, B. (2015). *Sentiment analysis: mining opinions, sentiments, and emotions* (1st Ed). Cambridge: Cambridge University Press.

López, M., Valdivia, A., Martínez, E., Luzón, M., & Herrera, F. (2018). E2SAM: evolutionary ensemble of sentiment analysis methods for domain adaptation. *Information Sciences, 480*, 273-286.

Mahendhiran, S., & Kannimuthu, S. (2018). Deep learning techniques for polarity classfication in multimodal sentiment analysis. *International Journal of Information Technology & Decision Making, 17*(3), 883-910.

Microsoft Azure. (2019). Text analytics. Obtenido de https://azure.microsoft.com/es-es/services/cognitive-services/text-analytics/.

Mishra, P., Rajnish, R., & Kumar, P. (2016). Sentiment analysis of Twitter data: case study on digital India. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology (InCITe)*. (pp. 148-153). Noida, India: IEEE.

Monkeylearn. (2019). Sentiment analysis. Obtenido de https://monkeylearn.com/sentiment-analysis/.

Mukherjee, S., & Bhattacharyya, P. (2012). Sentiment analysis in Twitter with lightweight discourse analysis, In *Proceedings of the 24th International Conference on Computational Linguistics (COLING)*, (pp 1847–1864). Munbai, India: ACL Anthology.

NLTK. (2018). Python NLTK text classification. Obtenido de https://www.datacamp.com/community/tutorials/text-analytics-beginners-nltk.

Pandarachalil, R., Sendhilkumar, S., & Mahalakshmi, G. (2015). Twitter sentiment analysis for large-scale data: an unsupervised approach. *Cognitive Computation, 7*(2) , 254–262.

ParallelDots. (2019). Text analysis demo. Obtenido de https://www.paralleldots.com/text-analysis-apis.

Raja, A.M., & Swamynathan, S. (2016a). Tweet sentiment analyzer: sentiment score estimation method for assessing the value of opinions in Tweets. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Information Communication Technology & Computing (AICTC)*. (pp. 83:1-83:6). Bikaner, India: ACM.

Raja, A.M., & Swamynathan, S. (2016b). Tweet analyzer: identifying interesting Tweets based on the polarity of Tweets. *Advances in Intelligent Systems and Computing, 410*, 307-316.

Rodrigues, A., Rao, R., & Chiplunkar, N. (2017). Sentiment analysis of real time Twitter data using big data approach. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solution (CSITSS)*. (pp. 1-6). Bangalore, India: IEEE.

Sahni, T., Chandak, C., Chedeti, N. R., & Singh, M. (2017). Efficient Twitter sentiment classification using subjective distant supervision. In Proceedings *of the 9th International Conference on Communication Systems and Networks,* Bangalore (pp. 548-553). India: IEEE.

Sharma, A., & Nayak, G.K. (2017). Efficient and parallel framework for analyzing the sentiment. *Advances in Intelligent Systems and Computing , 515*, 135-145.

Sulaiman, A., Alharbi, M., & Doncker, E. (2019). Twitter sentiment analysis with a deep neural network: an enhanced approach using user behavioral information. *Cognitive Systems Research, 54*, 50-61.

SummarizeBot. (2019). Text analysis API demo. Obtenido de https://www.summarizebot.com/text_api_demo.html.

Sun, X., Li, C,. & Ren, F. (2016). Sentiment analysis for Chinese microblog based on deep neural networks with convolutional extension features. *Neurocomputing, 210*, 227–236.

Sygkounas, E., Rizzo, G., & Troncy. R. (2016). Sentiment polarity detection from Amazon reviews: an experimental study. *Communications in Computer and Information Science, 641*, 108-120.

Tang, D. (2015). Sentiment-specific representation learning for document-level sentiment analysis. In *Proceedings of the Eighth ACM International Conference on Web Search and Data Mining (WSDM)*, (pp. 447-452). Shanghai, China: ACM.

TextBlob. (2019). Tweepy. Obtenido de https://www.tweepy.org/.

Trupthi, M., Suresh Pabboju. S., & Narasimha, G. (2017). Sentiment analysis on Twitter using streaming API. In *Proceedings of the 7th International Advance Computing Conference (IACC)*. (pp. 915-919). Hyderabad, India: IEE.

uClasificar. (2019). Sentiment. Obtenido de https://www.uclassify.com/docs/restapi.

Villegas, J., Cobos C., Mendoza M., & Herrera-Viedma E. (2018) Feature selection using sampling with replacement, covering arrays and rule-induction techniques to aid polarity detection in Twitter sentiment analysis. *Lecture Notes in Computer Science, 11238*, 467-480.

Watson IBM. (2019). Natural language understanding. Obtenido de https://www.ibm.com/watson/services/natural-language-understanding/

Xiong, S., Lv, H., Zhao, W., & Ji, D. (2018). Towards Twitter sentiment classification by multi-level sentiment-enriched word embeddings. *Neurocomputing*. *275*. 2459-2466.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 14/06/2019
Aceitação/Acceptance: 20/09/2019

Evaluación del Particionado Espectral Centralizado para el Transporte Radio sobre Fibra en Redes Ópticas de Acceso y Metropolitanas

Fabian Ranulfo Cuesta-Quintero[1], Gustavo Puerto-Leguizamón[2], Dewar Rico-Bautista[1]

fcuestaq@ufpso.edu.co, gapuerto@udistrital.edu.co, dwricob@ufpso.edu.co

[1] Grupo de ingeniería en innovación, tecnología y emprendimiento (GRIITEM). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. 546551,Ocaña, Colombia.

[2] Grupo de investigación GRECO. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Pages: 367–377

Resumen: Este artículo evalúa la técnica de generación multi-portadora basada en segmentado espectral para el transporte de señales de radio sobre fibra. El diseño propone y evalúa la generación de portadoras ópticas utilizando una fuente de banda ancha en combinación con un filtro óptico. La evaluación experimental midió la magnitud del vector de error para particiones espectrales de 1nm, 3nm, 6nm y 8nm que transportan formatos de modulación QPSK y 16QAM en subportadoras de 1 GHz y 3 GHz a través de un enlace de fibra de 10 km. Para el caso de ancho de banda de 1nm y modulación QPSK, se encontró un EVM de 29.6458% mientras que un EVM de 40.4685% fue medido para el servicio transportado en 16QAM. Los resultados encontrados muestran que una subportadora de 30 GHz a través de un enlace de fibra de 40 km es factible.

Palabras-clave: Particionado espectral; Multiplexación de subportadora; Radio sobre fibra.

Evaluation of a Centralized Spectral Slicing for Radio over Fiber Transport in Optical Access and Metro Networks

Abstract: This paper evaluates the technique of multi-carrier generation based on spectral slicing for the transport of radio over fiber signals. The design proposes and evaluates the generation of optical carriers using a broadband source in combination with an optical filter. The experimental evaluation measured the Error Vector Magnitude (EVM) for 1nm, 3nm, 6nm and 8nm optical slices that transport QPSK and 16QAM modulation formats at 1 GHz and 3 GHz subcarriers over a fiber link of 10 km. For the case of 1nm bandwidth and QPSK modulation, an EVM of 29.6458 % was found while an EVM of 40.4685% for the service transported in 16QAM was measured. Results found show that a 30GHz subcarrier over a fiber link of 40km is feasible.

Keywords: Spectral slicing; subcarrier multiplexing; Radio over Fiber.

1. Introducción

La convergencia de los sistemas de acceso óptico e inalámbrico ha atraído mucho interés para aumentar la capacidad y la movilidad en las redes de acceso de alta velocidad. Además, la creciente demanda de servicios de banda ancha móvil, el surgimiento de dispositivos móviles de alta capacidad y aplicaciones intensivas de datos, están forzando a las redes móviles a evolucionar continuamente para cumplir con los requisitos de capacidad y cobertura (Villafani Caballero et al., 2015) (Soma et al., 2018). En este contexto, se necesitará una amplia gama de tecnologías (Cuesta-Quintero et al., 2018), en particular en el ámbito del transporte de celdas de pequeño tamaño con el fin de soportar de manera rentable la densificación continua de celdas, mientras que las tecnologías ópticas seguirán migrando el acceso, impulsado por el aumento de los requisitos de capacidad y las nuevas tecnologías ópticas (Zhu et al., 2015).

Principalmente la base del presente estudio radica en la necesidad de encontrar un valor agregado como por ejemplo minimizar costos en infraestructura, simplificando de una manera eficiente la forma en la que se genera una longitud de onda para un determinado canal para un sistema convergente. La mayoría de redes WDM transportan tráfico homogéneo, por ejemplo: tramas SONET (Synchronous Optical NETwork) OC-48 (2,5 Gbit/s) y OC-192 (10 Gbps), flujos MPLS, o Gigabit Ethernet. Sin embargo, en el caso de tráfico no homogéneo (bien analógico/digital, o bien digital con distintas velocidades y formatos de modulación) resulta más eficiente acudir a soluciones alternativas. En esta situación, la solución consiste en usar las técnicas de radio sobre fibra (RoF) para proporcionar un nuevo nivel de multiplexación sobre cada uno de los canales ópticos y facilitar el transporte de señales de radiofrecuencia. De este modo se llega a un esquema de multiplexación híbrido WDM-SCM, en el cual se tiene un canal de información independiente por cada una de las subportadoras que componen cada uno de los canales ópticos WDM. Las señales SCM a diferentes longitudes de onda provenientes de distintos transmisores ópticos se pueden multiplexar en el dominio óptico empleando un combinador e inyectarse posteriormente en una misma fibra. La ventaja de este esquema de multiplexación conjunto es que permite enrutar cada portadora hacia un determinado nodo óptico en función de su longitud de onda, y posteriormente seleccionar la subportadora de cada usuario en el dominio eléctrico (Almeida et al., 2014) (Soeiro, Alves, & Cartaxo, 2017).

La motivación de este trabajo radica en la necesidad de encontrar una forma de minimizar los costes de infraestructura a la vez que se simplifica la forma en que se genera una longitud de onda para un canal determinado de un sistema convergente. La generación de múltiples portadoras se ha logrado mediante técnicas de modelado con peine de frecuencia óptica. Recientemente, en (Ullah et al., 2018) se describe un enfoque que utiliza tres moduladores en cascada y una fuente láser que está conectada con un modulador de amplitud y dos moduladores Mach-Zehnder (MZM) en cascada. En este enfoque, un generador óptico multiportadora en el lado del MEE que soporta numerosos usuarios, reduce los costes del Terminal de Línea Óptica (MEE) del sistema convencional de Red Óptica Pasiva Multiplexada por División de Longitud de Onda (WDM-PON). Además, en (Gutiérrez et al., 2016) (Rappaport, Xing, Member, & Maccartney, 2017) se presenta un enfoque que genera portadoras ópticas proporcionadas por un peine de frecuencia óptica con conmutación de ganancia inyectada externamente. En esta propuesta, cada

canal óptico transmitía una señal de multiplexación subportadora ortogonal (SCM) de 21,6 Gb/s a 30 GHz, que se modulaba y demodulaba en el ámbito eléctrico.

Otro esquema de canalización para una señal de radiofrecuencia (RF) de banda ancha basada en un peine de frecuencia óptica (OFC) se presenta en (Xie et al., 2012) (Singh, Singh, Kaur, & Kaler, 2015) donde se propone y demuestra un filtro de peine y una demultiplexación óptica. En este enfoque, la señal de entrada de banda ancha de radiofrecuencia (RF) es multicastada por un OFC espaciado a 39GHz y cortada por un filtro Fabry-Pérot (FPF). Además, en (Chicharro, Ortega, De Diego, & Mora, 2017) se describe un transmisor óptico reconfigurable de señales de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) basado en una fuente óptica de emisión espontánea amplificada y cortada. En este trabajo se evalúa el rendimiento de un generador multiportadora centralizado para redes de acceso y metro basado en una fuente de banda ancha óptica y un filtro óptico de banda ancha. A diferencia de las propuestas relacionadas, este enfoque permite la generación y el transporte de portadoras ópticas para alimentar tanto la red de acceso como la de metro utilizando bandas de paso anchas. Este hecho conduce a un transporte convergente RoF rentable en ambos segmentos de la red.

2. Descripción de la Arquitectura

La Figura 1, ilustra el diseño de las redes de acceso y metro propuestas que operan bajo un paradigma de corte centralizado.

Este sistema consiste en una fuente de banda ancha que alimenta el filtro de demultiplexación responsable de la partición del espectro óptico emitido por la fuente de banda ancha. Una vez generadas las portadoras, son multiplexadas y enviadas hacia el segmento de acceso a través del circulador óptico (a) - que dirige la portadora no modulada al modulador óptico en cada una de las estaciones base de la red de acceso para conformar la señal de enlace ascendente en este segmento.

Una vez obtenida la señal RoF, el circulador óptico (b) habilita el enlace ascendente y dirige la señal hacia la red de metro. Posteriormente, un divisor óptico de 1x2 se encarga de distribuir la señal RoF por igual al multiplexor óptico Add-Drop (OADM). El OADM consiste en switches ópticos y una disposición de rejillas de guía de ondas en serie (AWG), que se encargan de definir las entradas y salidas del sistema. Se realizó una evaluación de la arquitectura propuesta en Optisystem mediante un modelo de simulación y los resultados se describen en la sección 3.2.

2.1. Detalles de la Implementación

El montaje del ensayo se representa en la Figura 2 la fuente de banda ancha (BBS) genera una señal de banda ancha de 1000nm a 2000nm que entra en el filtro demux centrado en 1550nm. Las bandas de paso del filtro cortaron las anchuras de banda ópticas de 1nm, 3nm, 6nm y 8nm que se utilizaron como fuentes ópticas para el modulador Mach-Zehnder (MZM). El enfoque se evalúa en términos de la calidad de funcionamiento proporcionada por el uso de cortes ópticos de banda ancha y su impacto en la capacidad de modulación del ancho de banda disponible. Además, al medir la Magnitud del Vector de Error (EVM), también se evaluó la calidad de las señales transportadas. Para la

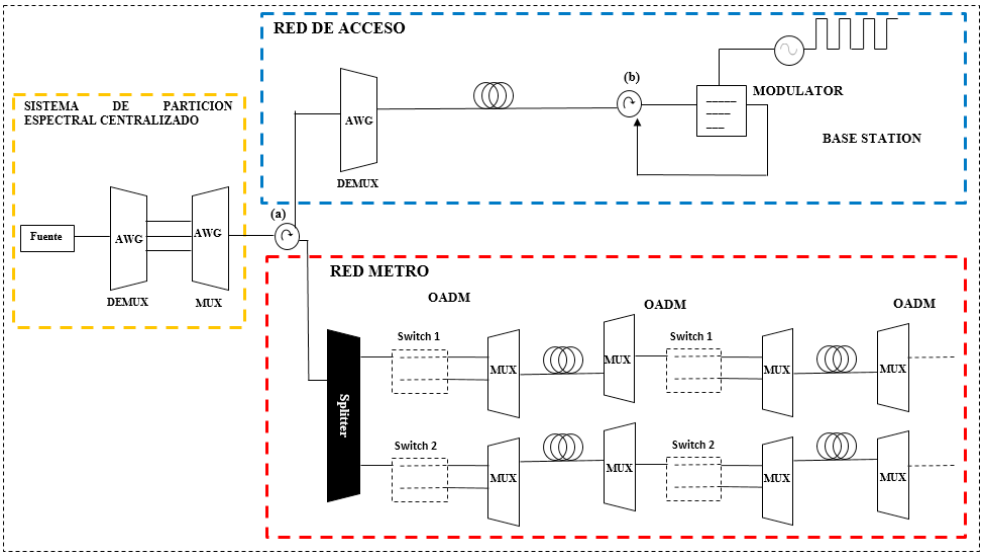


Figura 1 – Esquema general de la red

validación experimental, un Analizador de Redes Vectoriales (VNA) alimenta el sistema con frecuencias de 5MHz a 5GHz. Posteriormente, la señal óptica modulada se amplifica 15 dB antes de la transmisión a través de la fibra óptica. Después de la propagación en fibra de las señales RoF, un atenuador óptico (ATT) emula las pérdidas ópticas adicionales de la aproximación y un fotodetector (PD) permite el análisis y evaluación de las señales transportadas.

El esquema de la implementación de la demostración experimental se muestra en la Figura 2 las pruebas se realizaron con el generador de forma de onda arbitraria M8190A, que generó las modulaciones digitales en las portadoras de RF. En este escenario, se utilizó la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura de doble polarización (QPSK) y el 16QAM (modulación de amplitud en cuadratura). Para estas pruebas de validación se tuvo en cuenta la distancia que mejor se ajustaba a una red de metro de acceso, por lo que el experimento incluyó enlaces ópticos de 1 km, 5 km y 10 km.

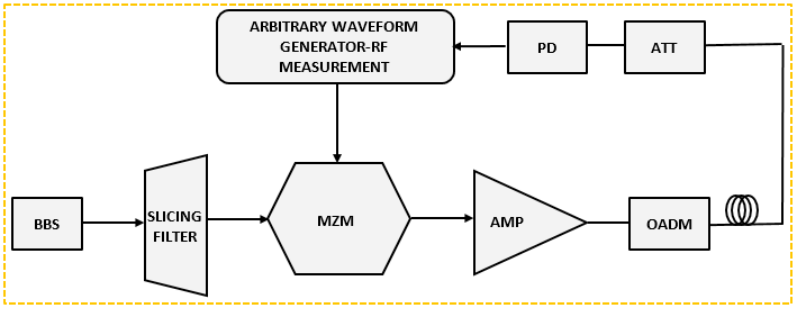


Figura 2 – Esquema de la demostración experimental del sistema propuesto

3. Resultados

3.1. Resultados Experimentales

Los resultados de la caracterización de la potencia para las bandas de paso definidas por el filtro de corte a diferentes longitudes de fibra se muestran en la Figura 3. Como se puede ver, cuanto más baja es la banda de paso, más baja es la potencia y cuanto más alta es la banda de paso, mayor es la potencia disponible por canal. Para la caracterización experimental se utilizó un amplificador EDFA para aumentar el nivel de potencia en la salida del transmisor.

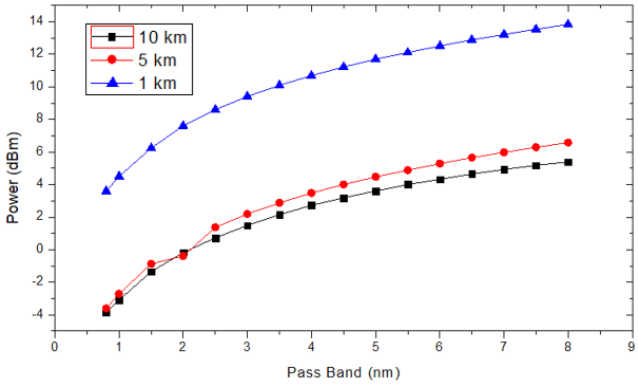


Figura 3 – Mediciones de potencia vs fibra óptica

La figura 4 ilustra las diferentes frecuencias de RF en función de las diferentes bandas de paso con diferentes longitudes. En el caso de una banda de paso de 1 nm, se encontró una banda de modulación de 2,7 GHz para una longitud de fibra de 1 km. Así pues, se observó en general que la banda de modulación disminuye a medida que aumenta la banda de paso, es decir, que la capacidad de modulación se pierde a medida que aumenta el ancho de línea. También cabe mencionar que no se realizó ningún proceso de compensación de dispersión, lo que implica que los resultados para el caso de 5 y 10 km pueden ser mejorados.

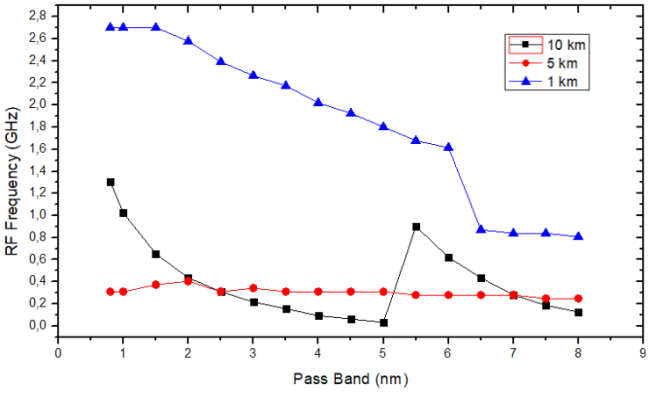


Figura 4 – Variación de la RF versus banda de paso

La figura 5 ilustra las constelaciones de las bandas de paso SCM/QPSK de 3 GHz en 1nm, 3nm, 6nm y 8nm respectivamente. Nótese que para una banda de paso de 1nm, la constelación puede ser medida, para una banda de paso de 3nm y 6nm respectivamente las constelaciones se vuelven más ruidosas, y para una banda de paso de 8 nm la señal no es detectable en absoluto. Estos hechos demuestran que cuanto más alta es la banda de paso, mayor es la EVM.

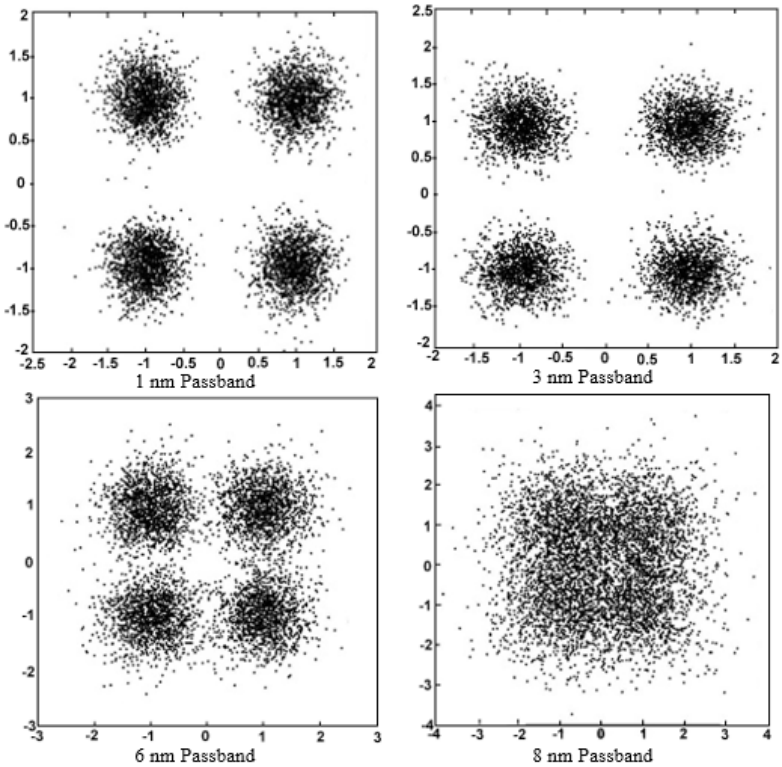


Figura 5 – Constelación 3 GHz SCM/QPSK a 10 km de fibra óptica

La figura 6 ilustra los resultados encontrados para las mismas bandas de paso que transportan 3 GHz SCM/16QAM. Nótese que para la banda de paso de 1nm, la constelación apenas puede ser identificada. En este escenario, las bandas de paso más anchas afectan significativamente a la mayor modulación multinivel, lo que impide obtener una calidad de señal tolerable.

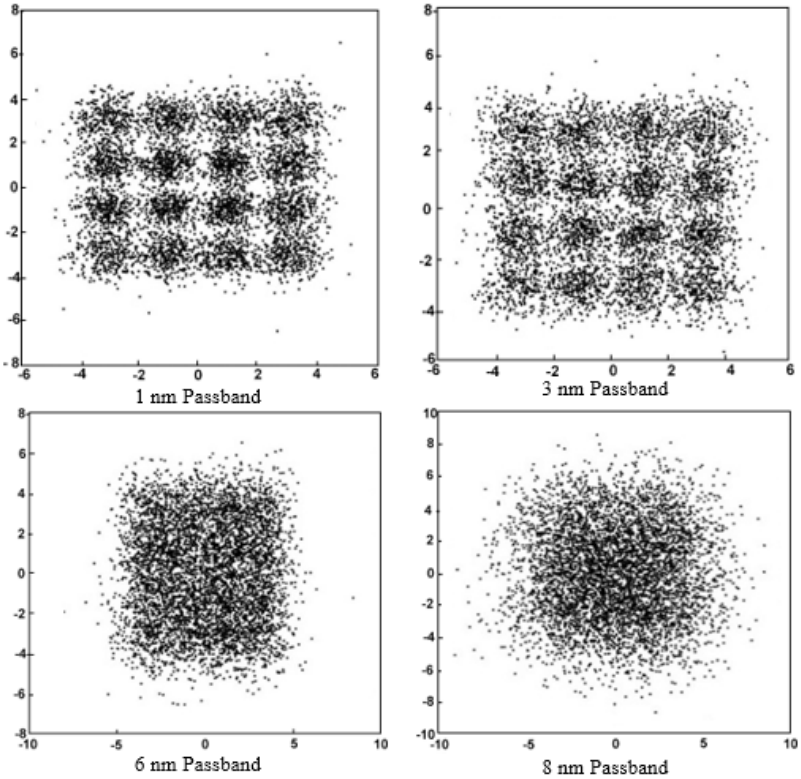


Figura 6 – Constelación 3 GHz SCM/16 QAM a 10 km de fibra óptica

La figura 7 resume el comportamiento del EVM (Magnitud del Vector de Error) para dos tipos de modulación QPSK y 16 QAM a 1 GHz y 3 GHz, para cuatro anchos de banda de paso 1, 3, 6 y 8 nm, y una longitud de fibra constante de 10 km. Para el caso de 1 nm en la modulación SCM/QPSK, existe una incertidumbre 29.6458 % en órdenes de magnitud, cuando el receptor intentó identificar el símbolo encontró una acumulación de puntos a ese punto central, es decir hubo un desfase o un nivel de error del 29.6458 % en encontrar la magnitud real de ese vector. Entendiendo que las modulaciones digitales se fundamentan en determinar un símbolo y ese símbolo está determinado por una amplitud y una fase, entonces la diferencia entre un punto real de detección y el peor punto de detección que definió ese mismo símbolo, para este caso fue de 29.6458 %. Los resultados obtenidos con bandas de paso superiores a 6 nm indican que, a menos que se incluya un procesamiento adicional en el sistema, esta banda de paso no es adecuada para transportar servicios de RF con un buen nivel de garantía de calidad.

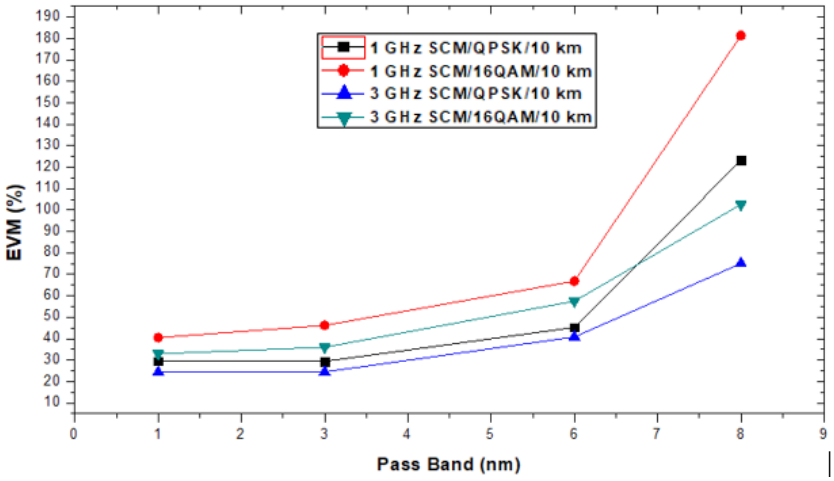


Figura 7 –Medida de calidad para 1 GHz SCM/QPSK/10 km, 1 GHz SCM/16QAM/10 km, 3 GHz SCM/QPSK/10 km y 3 GHz SCM/16QAM/10 km

3.2. Resultados del modelo

El modelado basado en simulación del esquema general se realizó en Optisystem con el fin de evaluar la aproximación basada en la frecuencia de la subportadora, la distancia y los parámetros de la banda de paso. La evaluación se realizó sobre la base de la medición del factor Q. En cuanto a la subportadora, se utilizaron 5GHz, 30GHz y 60GHz. La distancia fue barrida de 5 km a 50 km en pasos de 5 km. Las bandas de paso modeladas fueron 50 MHz, 100MHz, 150MHz y 200 MHz. Las Figuras 8, 9, 10 y 11 muestran los resultados obtenidos para las bandas de paso de 50MHz, 100MHz, 150MHz y 200 MHz, respectivamente. Se observa que cuanto más estrecha sea la banda de paso del filtro disponible, mejor será el rendimiento del sistema tanto para distancias cortas como largas. También hay que tener en cuenta que la frecuencia que ofrece el mejor rendimiento es de 30 GHz. Este hecho se deriva de los productos de intermodulación armónica que aparecen fuertemente con una subportadora de 5GHz mientras que la degradación de los 60 GHz proviene de la limitación del ancho de banda del modulador óptico utilizado en las simulaciones.

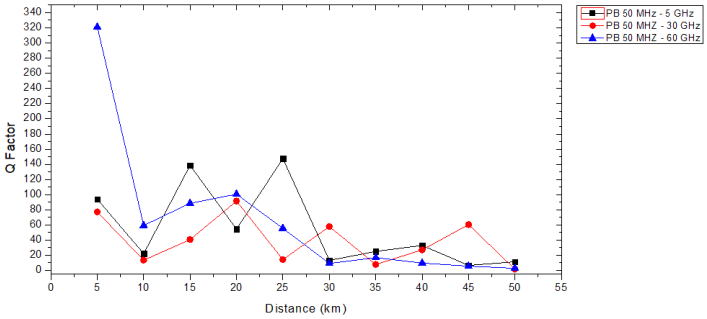


Figura 8 – Factor Q vs distancia para la banda de paso de 50MHz

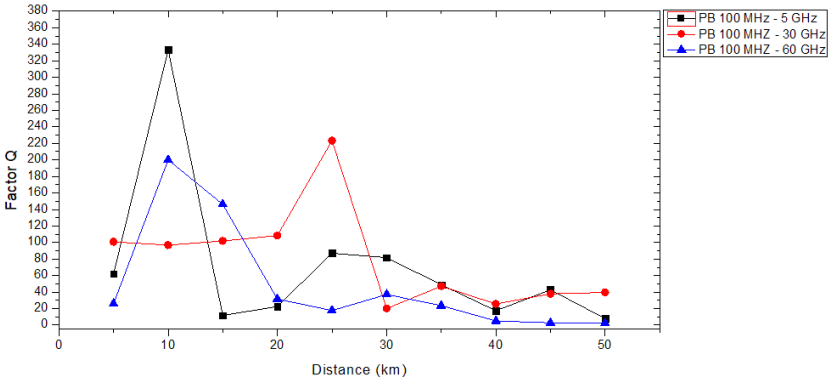


Figura 9 – Factor Q vs distancia para la banda de paso de 100MHz

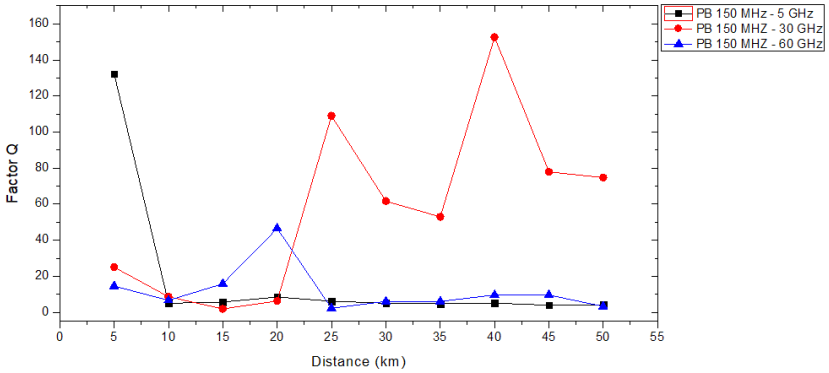


Figura 10 – Factor Q vs distancia para la banda de paso de 150MHz

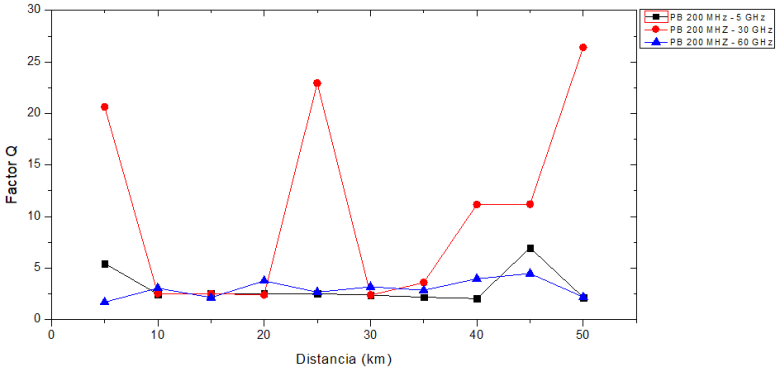


Figura 11 – Factor Q vs distancia para la banda de paso de 200MHz

4. Conclusiones

Este trabajo demuestra el uso de una fuente de luz de banda ancha y un filtro óptico de banda ancha para generar portadoras ópticas para la transmisión de señales WDM-SCM en redes de acceso y metro. Basándose en las mediciones realizadas, a frecuencias inferiores a 1 GHz la respuesta de potencia mejora en función de la banda óptica de paso definida en el filtro de corte. Se observó que cuanto más estrechas son las bandas de paso en el filtro, mejor es la respuesta en el receptor debido a las penalizaciones por dispersión cromática. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que una banda de paso óptica estrecha conduce a una potencia media inferior. Por lo tanto, la calidad de la señal depende del compromiso entre la potencia óptica y la dispersión para una banda de paso óptica determinada.

Los resultados experimentales demostraron que la modulación 16QAM se recomienda sólo cuando la frecuencia de subportadora es 1GHz o inferior para una ecualización correcta de la señal recibida. La EVM medida no mostró diferencias significativas con respecto a la frecuencia de subportadora para un servicio QPSK. Los resultados de la modelación permitieron predecir el desempeño del sistema propuesto a frecuencias de subportadora más altas y enlaces ópticos más largos, siempre y cuando se compensara el impacto de la dispersión. En particular, es factible un sistema RoF que transporte hasta 30 GHz a lo largo de 40 km. Se pueden alcanzar distancias más largas utilizando la amplificación óptica y se pueden utilizar frecuencias de subportadora más altas con un rango dinámico más alto del modulador óptico.

Agradecimientos

Los autores desean reconocer y agradecer a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y al Laboratorio de Investigación Fotónica de Valencia por apoyar el desarrollo de este estudio.

Referencias

Almeida, R. P., Oliveira, R. S., Moritsuka, N. S., Frances, C. R. L., Teixeira, A., & Costa, J. (2014). Digital radio over fiber transmission based on SCM and WDM system for C-RAN architecture. *2014 International Telecommunications Symposium, ITS 2014 - Proceedings*, 0–4. https://doi.org/10.1109/ITS.2014.6947987

Chicharro, F. I., Ortega, B., De Diego, M., & Mora, J. (2017). Reconfigurable optical OFDM signal transmitter based on sliced ASE source for DD MB-OFDM next generation WDM access networks. *International Conference on Transparent Optical Networks*, 10–13. https://doi.org/10.1109/ICTON.2017.8024887

Cuesta-Quintero, F. R., Coronel-Rojas, L. A., Rico-Bautista, D., Barrientos-Avendaño, E., Montañez-vergel, O. J., & Páez-Noriega, C. M. (2018). Sistema de detección de intrusos a través de una red honeynet para entornos de red cableada sobre IPv6. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, *1*(33), 104–113. https://doi.org/10.24054/16927257.v33.n33.2019.3328

Gutiérrez, F. A., Martin, E. P., Perry, P., Ellis, A. D., Anandarajah, P. M., & Barry, L. P. (2016). WDM Orthogonal Subcarrier Multiplexing. *Journal of Lightwave Technology*, *34*(8), 1815–1823. https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2508418

Rappaport, T. S., Xing, Y., Member, S., & Maccartney, G. R. (2017). Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks-with a focus on Propagation Models. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65 (12), 6213 - 6230.

Singh, S., Singh, S., Kaur, R., & Kaler, R. S. (2015). Performance investigation of optical multicast overlay system using orthogonal modulation format. *Optics Communications*, *338*, 58–63. https://doi.org/10.1016/j.optcom.2014.10.033

Soeiro, R. O. J., Alves, T. M. F., & Cartaxo, A. V. T. (2017). Power budget of direct-detection ultra-dense WDM-Nyquist-SCM PON with low-complexity SSBI mitigation. *Optical Fiber Technology*, 36, 255–264. https://doi.org/10.1016/j.yofte.2017.04.007

Soma, D., Wakayama, Y., Beppu, S., Sumita, S., Tsuritani, T., Hayashi, T., & et al. (2018). 10.16-Peta-bit/s dense SDM/WDM transmission over 6-mode 19-core fiber across the C+L Band. *Journal of Lightwave Technology*, *36*, 1362-1368.

Ullah, R., Bo, L., Ullah, S., Yaya, M., Tian, F., Khan, M. K., & Xiangjun, X. (2018). Flattened optical multicarrier generation technique for optical line terminal side in next generation WDM-PON supporting high data rate transmission. *IEEE Access*, 6, 6183–6193.

Villafani Caballero, D., Almeida, R. P., Urban, P. J., Costa, J. C. W. A., von der Weid, J. P., & Chen, J. (2015). SCM/WDM-PON with in-service baseband embedded OTDR monitoring. *Optics Communications*, *356*, 250–255. https://doi.org/10.1016/J.OPTCOM.2015.08.003

Xie, X., Dai, Y., Ji, Y., Xu, K., Li, Y., Wu, J., & Lin, J. (2012). Broadband photonic radio-frequency channelization based on a 39-GHz optical frequency comb. *IEEE Photonics Technology Letters*, *24*(8), 661–663. https://doi.org/10.1109/LPT.2012.2185787

Zhu, M., Li, F., Lu, F., Yu, J., Su, C., Gu, G., & Chang, G. K. (2015). Wavelength Resource Sharing in Bidirectional Optical Mobile Fronthaul. *Journal of Lightwave Technology*, *33*(15), 3182–3188. https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2428226

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 11/05/2018
Aceitação/Acceptance: 18/07/2018

Household Electricity Demand in Marginal Ecuador: Estimation and impact of explanatory variables

J. Hidalgo-Crespo[1], Y. González Cañizalez[1], S. Coello Pisco[1], J. Barzola Monteses[2,3], Alonso Águila L. M.[3], T. Crespo-Vaca[4]

jose.hidalgocr@ug.edu.ec, yomar.gonzalezc@ug.edu.ec, silvia.coellop@ug.edu.ec, julio.barzolam@ug.edu.ec, luis.manuela@ug.edu.ec, tania.crespov@ug.edu.ec

[1] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, Guayaquil, Ecuador.

[2] Universidad de Granada, Department of Computer, Science and Artificial Intelligence, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicaciones, Granada, Spain.

[3] Universidad de Guayaquil, Department of Scientific Research, Faculty of Mathematics and Physical Sciences, Guayaquil, Ecuador.

[4] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Médicas, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 378–391

Abstract: Despite all efforts to reduce household electricity consumption in the country, the demand remains in constant increase. There has been very little investigation carried out on the integration of household consumption trends and explanatory variables influencing them. The study was conducted applying descriptive correlation and explanatory factors analysis on data collected from 1,187 households in eight urban-marginal sectors of the city of Guayaquil. Ordinary least square regression was used to obtain coefficients for the proposed models. Our results show that socio-demographic variables affect the most on electric consumption and that behavioral patterns the least.

Keywords: Explanatory Variables; Socio-demographic; Behavioral patterns; Ordinary Least Square (OLS) regression.

1. Introduction

One of the essential components for the economic development of a country is the availability of enough and reliable sources of energy at a lower cost. Under this precedent it is essential to be able to determine the current and future behavior of the electricity demand, considering the possible impacts produced by political, economic, social, environmental and technological variables. In Ecuador, almost 56% of the population live in urban-marginal (19.3%) and rural areas (37%), according to the census of population and housing carried out in 2010 by the National Institute of Statistics and Censuses (INEC). Marginal areas of the country are known to be those who were once settlements on the outskirts of the city in precarious conditions, but now, count with access to services in environmentally vulnerable areas.

Studying electricity demand for these marginal sectors of the city of Guayaquil is structurally and circumstantially important for planning and managing electricity production in Ecuador, as these sectors continue evolving by the improvement of their social status and in consequence, increasing their electricity demand. About one-fifth of total global energy demand originates from the residential sector (Brounen, Kok & Quigley, 2012). According to data from the World Bank, electric power consumption in Ecuador was 1,381 kWh, an increase of almost 67% compared to year 2004. It is important to reduce the amount of energy consumed by households, not only because of the potential environmental benefits this would produce, but also because of the escalating price of energy in many areas, as such savings would reduce household energy bills (Webb, Ben & Chang, 2014). Households are responsible for a considerable amount of total greenhouse gas emissions. Households therefore constitute an important target group for energy conservation (Abrahamse & Steg, 2009). In this context, improving the understanding of underlying determinants and testing how malleable is the link between them and consumption patterns, permits us to draw more reliable implications for future considerations and the design and implementation of effective reducing policies (Grotteraa, et al., 2018).

In previous research, Hidalgo, Coello & Gonzalez (2018), identified the determinants of electricity demand for a small portion of population from one marginal sector of the city. They found that using the parameters of household size, income, utility, education and labor force, we could explain how these households vary their electricity consumption by correlating these variables using ordinary least square regression with energy demand. In this paper we use the same principle of correlation with regressions, but with bigger sample from 8 sectors of the city including the first one studied in our previous paper. Our first goal is to further analyze the explanatory variables of household electricity consumption in marginal sectors of the city. In order to achieve this, we statically define socio-demographic characteristics, behavioral patterns and household profiles in relation to electricity consumption. Further, we identify the significance of these explanatory variables relating them with the natural logarithm of electricity consumption (kWh).

2. Literature Review

Normally macroeconomic variables, such as gross domestic product (GDP) and population growth are used to estimate the electricity consumption for a country (Maluf & Piedade, 2019; Chunekar & Sreenivas, 2018; Asumadu & Kofi, 2018). Zaman, Khan, Ahamad & Rustam (2012), employed the bounds-testing procedure for cointegration to examine the short-run and long-run estimates of influence of foreign direct investment, income and population growth in Pakistan. Al-Bajjali & Shamayleh (2018), used the Johansen cointegration test to examine the long-term relationships of six independent variables: GDP, electricity prices, population, urbanization, structure of economy and aggregate water consumption and Vector Error Correlation Model (VECM) to determine their relationship with the dependent variable. Tian & Jia (2018), also seeked to quantify price and income elasticities in Singapore using a panel approach across dwelling types and geographical areas and found out that households' don´t really react much to prices. Nevertheless, behavioral patterns and socioeconomic characteristics have been defined

with household characteristics to be more influencing in the electricity consumption of a household (Vassileva, Odlare, Wallin & Dahlquist, 2012; Grotera et al., 2018; Singh, Mantha, Phalle, 2018; Kim, 2018).

Lévy & Bealid (2016), showed the essential role of the combination of the energy mode used by households in the intensity of domestic energy consumption; these combinations are markers for specific population profiles and housing characteristics. Bedir & Kara (2017), conducted a descriptive analysis on the variables related to ownership of appliances, their use, presence, and household and dwelling characteristics, and electricity consumption. Huang (2015), employed quantile regression to analyze the determinants of household electricity consumption for different levels of electricity use in Taiwan. Pereira et al., 2019, empirically estimated the price and income elasticities for household electricity consumption using microdata for Brazil and a panel approach. Charfuelan et al., 2016, attempted to describe the electricity consumption in the residential sector in Brazil in a top down matter through explanatory variables aiming at obtaining long-range elasticities. Su, 2019, investigated the residential electricity demand in Taiwan using survey data of 7677 households between 2014 and 2017.

Abrahamse et al. (2009), examined the extent to which socio-demographic and psychological factors were related to household energy use and energy savings, and whether direct and indirect energy use and savings were related to different behavioral determinants using correlation and regression analysis. Brounen et al. (2012), analyzed the extent to which the use of electricity is determined by the technical specifications of the dwelling as compared to the demographic characteristics of the residents. Hasanov & Mikayilov (2017), investigated the impacts of the population age groups and affluence on the residential electricity consumption in Azerbaijan. Esmaeilimoakher, Urmee, Pryor & Baverstock (2016), investigated the determinants of electricity consumption in social housing through a field survey in the dwellings.

McLoughlin, Duffy, Conlon (2012), presented results linking dwelling and occupant socioeconomic variables and electrical parameters using Pearson Correlation Matrix with the SPSS Version 19. Sakah, De la Rue, Diawuo, Sedzro & Kuhn (2018), combined a residential electricity consumption survey (RECS) with electricity end-use monitoring of 60 households conducted between June and September 2017 in Tema, Ghana. Jones & Lomas (2016), provided an analysis of the appliance ownership and use factors contributing to high electrical energy demand in UK homes. Ye, Koch, Zhang (2018), found that electricity price and household income are major economic factors, and for the most part, accord with economic expectations, meaning, a higher electricity price contributes to reduced consumption. Huebner, Hamilton, Shalabi, Shipworth & Oreszczyn (2015), used a nationally representative sample of 845 households, to show that appliance ownership and usage are the most influential variables in understanding electricity consumption, together with household size.

3. Ecuador Energy Supply Review

Ecuador is an upper-middle-income country with a population of about 17 million and a 2017 GDP per capita of just over $6,273. Approximately 64% of the population live

in the cities. Household access to electricity is high with a 97% coverage, according to the World Bank, 2017. Ecuador has invested heavily in hydroelectric power over the past decade, building on substantial potential due its high rainfall and mountainous geography, also petroleum production play an important role in the country (Gould, et al., 2018). The Guayas province has the highest demand of electricity, with only 5% of the total amount lacking this service (Jara, Reinoso, Isaza-Roldán, Espinoza, 2017). For this reason, in 2010 the Ministry of Electricity and Renewable Energy (MEER), through consultancy, conducted a new analysis of some cities' energy consumption in lighting, cooling, water heating and other (in this category is cooking with electricity) and determined that residential consumption in Ecuador for the 2010 represented 35% of the national electrical consumption. This is a serious amount of energy considering that the country has 24 provinces.

In Ecuador, MEER oversees renewable energy policy and planning. In 2015, the Act Establishing the Public Electric Power Service (LOSPEE) was published, overseeing the power sector in Ecuador. During the past decades, thermal power plants have been the main critical source for electricity production in the country, and they have also been favored by high fossil fuel subsidies. However, it is expected that, in coming years, hydroelectricity will cover over 90% of the electricity supply (Ponce-Jara, Castro, Pelaez-Samaniego, Espinoza-Abad & Ruiz, 2018). In 2017, Ecuador had a total of 8.2GW of installed capacity, with hydro representing 49% and thermal power accounting for 42% of its mix. In 2016, the country doubled its hydro capacity, which totals 3.9 GW today. Clean energy, encompassing small hydro, biomass, wind and solar plants, represents 10% of total capacity according to Climate Scope.

Variable (code)	**Categories (N)**
Number of rooms (nbr_rooms)	n/a (continuous: M = 3.34; SD = 1.43)
Household type (hotype)	Detached house (1098), apartment (39), rented bedroom (24), hut (9), cottage (14)
Household size (house_size)	n/a (continuous: M = 3.75, SD = 1.68)
Number of children (nbr_child)	n/a (continuous: M = 1.07, SD = 1.18)
Number of adults (nbr_adults)	n/a (continuous: M = 2.52, SD = 1.31)
Number of elderly (nbr_elderly)	n/a (continuous: M = 0.17, SD = 0.46)
Number of men (nbr_men)	n/a (continuous: M = 1.88, SD = 1.17)
Household labor (house_labor)	n/a (continuous: M = 1.62, SD = 1.02)
Tenure (Tenure)	Owner occupied (1015), rented (135), employer provided (3), user don't pay rent (31)

Table 1 – Overview of household characteristics

4. Methodology

4.1. Data set

The data analyzed for this paper was collected from 8 different marginal areas of the city of Guayaquil. An interview survey designed by the authors, asked householders about

details of their households and electricity consumption practices. Explanatory variables were broadly categorized into household characteristics, socio-demographic variables and behavioral patterns towards electricity consumption. The variables were chosen based on previous research (see Section 2) and limited by what was available in the data set. The sample size was N = 1,290 households. Of those 1,290 households, 106 were excluded based on the following criteria:

- Information was incomplete in the description of the members of the family.
- The household owner did not give the electric bill, or the code was copied incorrectly.
- Missing data on the attitudinal variables which would have made it necessary to create a little informative category of "missing data".
- Hence the total remaining sample size was N = 1,184 households which formed the basis for all the analyses carried out in this paper.

4.2. Household characteristics

Table 1 summarizes the household variables and their frequencies used in subsequent analysis. Note that the number of rooms considered each room of the house excluding only bathrooms, also the users that don´t pay rent in the tenure variable are the people that inherit their house or live with family because they´re from outside the city.

Variable (code)	Categories (N)
Social status (soc_status)	n/a (continuous: M = 535.54, SD = 139.19)
Socioeconomic group (soc_group)	HSE (15), MHSEG (147), MSEG (451), MLSEG (482), LSEG (89)
Occupant Weekly presence (house_ weekly_presence)	n/a (continuous: M = 444.46, SD = 224-82)
Electrical appliances (nbr_elec_ appliances)	n/a (continuous: M = 9.72, SD = 4.52)
High demand electrical appliances (nbr_highpower_appliances)	n/a (continuous: M = 3.84, SD = 3.56)
Medium demand electrical appliances (nbr_medpower_appliances)	n/a (continuous: M = 5.58, SD = 2.91)
Low demand electrical appliances (nbr_lowpower_appliances)	n/a (continuous: M = 1.40, SD = 1.22)
Household income (house_income)	Less than $390.00 (545), Between $391.00 and $775.00 (444), Between $776.00 and $1200.00 (444), Between $1201.00 and $1750.00 (43), Between $1751.00 and $2250.00 (6), and Between $2250.00 and $5000.00 (5)

Table 2 – Socio-demographic variables

4.3.Socio-demographic variables

Table 2 summarizes the variables used for the sociodemographic set of explanatory variables. The households in study area were stratified into five different socioeconomic

groups based on a stratification questionnaire about income, owned electronic devices, types of jobs and others. This questionnaire measures the socioeconomic group on a scale from 0 to 1000.

- Low socio-economic group: threshold < 316 (LSEG)
- Middle low socioeconomic group: threshold between 316.1 - 535 (MLSEG)
- Middle socioeconomic group: threshold between 535.1 - 696 (MSEG)
- Upper middle socioeconomic group: threshold between 696.1 - 845 (UMSEG)
- High socioeconomic group: threshold between 845.1 – 1000 (HSEG)

The occupant weekly presence measures the sum of hours of every person that inhabits the household in the week. The electrical appliances were divided into three groups.

- High demand appliances considered for the study were: fridge, induction kitchen, electric kitchen, electric oven, washing machine, air conditioner, water pump.
- Medium demand appliances considered for the study were: vacuum cleaner, electric grill, electric shower, hot water tank, iron, computer, DVD player, stereo, sewing machine, blender, microwave oven.
- Low demand appliances considered for the study were: portable audio & video devices, color TV, video camera, fans, rice cooker.

	Variable (abbreviation)	**M (SD)**
Answer Scale	Do you often in your household…	
Yes	Turn off all electronic devices and electric appliances when not in use? (off_electric_devicesappliances)	1.09 (0.29)
No		
Not Applicable	Turn off the lights when leaving a room? (off_lights)	1.04 (0.20)
	Avoid introducing hot meals in the fridge? (meal_fridge)	1.18 (0.39)
	Iron the most clothes as possible? (iron_clothes)	1.57 (0.56)
	Open the curtains and take advantage of sun light? (sunlight)	1.17 (0.41)
	Buy energy saving electrical appliances? (energy_saving)	1.31 (0.49)
Answer Scale	When buying a new product (electrical appliance), do you care about the…	
Not at all		
Little	Price? (price)	2.74 (0.47)
Much	Brand? (brand)	2.61 (0.58)
	Place of origin? (place_origin)	2.33 (0.68)
	Ecological label? (eco_label)	2.35 (0.69)
	Energy savings? (en_savings)	2.67 (0.56)

M is the mean value and SD the standard deviation.

Table 3 – Overview of household characteristics

4.4. Behavioral patterns towards electricity consumption.

The authors asked a variety of questions on pro-electricity saving behavior and new equipment decision making. Table 3 demonstrates mean answers and standard deviation for the variables included in the analysis. Note that individual items are used

as explanatory variables instead of combining them into scales (for example creating a "environmental awareness" scale). One item was used as a categorical variable, asking participants to indicate "Do you often ...?". The response options available were: "Yes" or "No" or "Not Applicable", and the number of participants who chose each option are summarized below; bold shows the abbreviation used later in the paper. The item 'meal_fridge' was reverse-coded for the correlation analysis so that positive correlations would be expected between all items.

4.5. Dependent variable: Average Monthly Electric Consumption.

The dependent variable used was the average monthly electric consumption in kWh. This value reflected the average kWh from 6 to 24 months of each households. Electric bills are available online on the website of MEER for the last 24 months. Some households recorded the entire period, others less because they were recently connected to the grill. The dependent variable was log-transformed (natural log) to achieve greater symmetry of the distribution, in particular of the residuals in the regression analysis. Values that were three standard deviations above or below the mean value were excluded from analysis, i.e. 20 cases. The mean log-transformed energy consumption was M = 5.09 kW h with a standard deviation of SD = 0.73; i.e. the geometric mean of the non-transformed energy consumption was M = 162.65 kWh, and the arithmetic mean was M = 202.21 kWh.

In regression models where the dependent variable has been log-transformed and the predictors have not, the format for interpretation is that dependent variable changes by 100/(coefficient) percent on average for a one unit increase in the independent variable while all other variables in the model are held constant.

Model	Categories (N)
Household Characteristics	0.01776977
Socio-demographic Variables	0.009355082
Behavioral Patterns	0.04276446

Table 4 – Best Lambda Values for OLS Regression Models

5. Results

In a first step, linear ordinary least squares (OLS) regression analysis was performed separately for the three classes of variables as presented above, i.e. 'household characteristics', 'socio-demographic variables', and 'behavioral patterns', using RStudio software. In order to avoid the issue of collinearity, a correlation matrix text was performed for the explanatory variables of each model. This test shows a correlation coefficient between explanatory variables. If R=0, then there is non-linear relationship between the two variables. If R>0, then one variable tends to increase as the other one increases, and if R<0, then one variable tends to decrease

as the other one increases. Closer values to 1 indicate high correlations. There is no formal cut-off point for critical values of R; in this paper a value of 0.7 was used. If R values greater than 0.7 in the OLS regression, then the Lasso regression (least absolute shrinkage and selection operator) was employed. Lease Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) performs regularization and variable selection on a given model. Depending on the size of the penalty term, LASSO shrinks less relevant predictors to (possibly) zero. Thus, it enables us to consider a more parsimonious model (James, Witten, Hastie, Tibshirani, 2013). However, best lambda values for all three models were almost zero, showing that OLS Regression was the best option (Table 4).

Variables	Coefficients	Variables	Coefficients
nbr_rooms	*0.063970****	*nbr_elderly*	*-0.225193*
hotype	*-0.079965***	*nbr_men*	*-0.017457*
house_size	*0.245799*	*house_labor*	*0.009739*
nbr_child	*-0.228371*	*Tenure*	*-0.047296*
nbr_adults	*-0.203325*	*Intercept*	*4.960951****

Significance Codes: 0***, 0.001**, 0.01*, 0.05 “.”, 0.1 “ ”

Table 5 – Results of the OLS household model regression

5.1. Household characteristics model.

All household characteristics together explained (R^2) 4.36% of the variability in electric energy consumption, F-statistic (6.89) and a p-value: 1.027e-0^9 are shown in table 5.

Variables	Coefficients	Variables	Coefficients
soc_status	5.061-04*	*nbr_medpower_appliances*	-5.178e-02**
soc_group	2.257-02	*nbr_lowpower_appliances*	-2.887e-02
house_weekly_presence	2.007-04*	*house_income*	7.137e-02**
nbr_elec_appliances	4.536-02**	*Intercept*	4.437e+00***
nbr_highpower_appliances	6.811e-03		

Significance Codes: 0***, 0.001**, 0.01*, 0.05 “.”, 0.1 “ ”

Table 6 – Results of the OLS socio-demographic model regression

5.2. Socio-demographic variables model.

All socio-demographic characteristics together explained (R^2) 6.21% of the variability in electric energy consumption, F-statistic (10.63) and a p-value: 1.707e-14 are shown in table 6.

Variables	Coefficients	Variables	Coefficients
off_electric_devicesappliances	0.106744 .	*price*	0.018118
off_lights	0.145716	*brand*	0.044054
meal_fridge	-0.097982 .	*place_origin*	0.026070
iron_clothes	-0.050513	*eco_label*	-0.014678
sunlight	-0.144468**	*en_savings*	-0.008361
energy_saving	-0.085368*	*Intercept*	5.175752***

Significance Codes: 0***, 0.001**, 0.01*, 0.05 ".", 0.1 " "

Table 7 – Results of the OLS behavioral patterns model regression

5.3. Behavioral patterns model.

All behavioral patterns that affect electricity consumption together explained (R^2) 2.26% of the variability in electric energy consumption, F-statistic (3.44) and a p-value: 9.877e-05 are shown in table 7.

5.4. Combined models

In the next step, we combined the models successively, and tested if each additional model increased explanatory power:

- Household + socio-demographic: The model combining household characteristics and socio-demographic variables (house_and_socio) explained 8.29% of the variability with an adjusted R2 being 6.93%, F-statistic: 6.1 and p-value: 9.487e-14. Combined model showed significance in nbr_rooms, hotype, nbr_elec_appliances, nbr_medpower_appliances and house_income. This implies that the inclusion of socio-demographic variables increases the explanatory power of the model.
- Behavioral patterns variables were added to the household characteristics. This new model (house_and_bp) explained 7.21% electricity consumption with an R2 of 5.59%, F-statistic: 4.44 and p-value: 3.356e-10. Five variables showed significance, being nbr_rooms and hotype, yet again important.
- Figure 1a shows the adjusted R2 for the four individual models and Figure 1b shows the adjusted R2 for the combined models. So far, the analysis showed that socio- In a final step, all three models: household_characteristics + socio_ variables and bp_characteristics were added. The "house_socio_bp" model explained 10.05% of the variability, F: 4.531 and p-value: 1.223e-13.

demographic variables explain the largest variation in domestic energy consumption but that adding further variables, household characteristics increase explanatory power further.

Variables	Coefficients	Variables	Coefficients
nbr_rooms	*0.0273 .*	*nbr_medpower_appliances*	*-0.0624***
hotype	*-0.0669**	*nbr_lowpower_appliances*	*-0.0331*
house_size	*0.2330*	*house_income*	*0.0596**
nbr_child	*-0.2269*	*off_electric_devicesappliances*	*0.0547*
nbr_adults	*-0.2061*	*off_lights*	*0.1336*
nbr_elderly	*-0.2190*	*meal_fridge*	*-0.0279*
nbr_men	-0.0145	*iron_clothes*	-0.0259
house_labor	-0.0125	*sunlight*	-0.1475**
tenure	-0.0471	*energy_saving*	-0.0454
soc_status	2.727e-04	*price*	0.0336
soc_group	0.0210	*brand*	0.0422
house_weekly_presence	1.288e-04	*place_origin*	0.0312
nbr_elec_appliances	0.0521**	*eco_label*	-0.0296
nbr_highpower_appliances	0.0043	en_savings	-0.0127
Intercept		4.5773***	

Significance Codes: 0***, 0.001**, 0.01*, 0.05 “.”, 0.1 “ ”

Table 8 – Results of the OLS regression for the combined model

Table 8 shows the OLS regression results for the combined model house_socio_bp. Significantly important variables for this combined model were: nbr_rooms, hotype, nbr_elec_appliances, nbr_medpower_appliances, house_income and sunlight. Negative coefficients indicate that when the variable increases in one-unit, electric consumption decreases 1%, and positive variables mean that for an increase of one unit of the dependent variable, electric consumption also increases 1%.

One important thing to notice, is that even though a lot of explanatory variables were used for this analysis, the total model explains as much as 10% of the variability, meaning that households don´t really behave accordingly to these factors. Culture should be taken in consideration for future explorations, since it seems as a big part on whether a household uses electricity or not and how efficiently they do. These results are like the ones presented by Hidalgo, Crespo, Coello, González (2019), where it´s shown a lack of environmental consciousness from residents, and that even the level of income and education don´t affect this awareness. They point that this may a side-effect of low electricity tariffs and people´s culture.

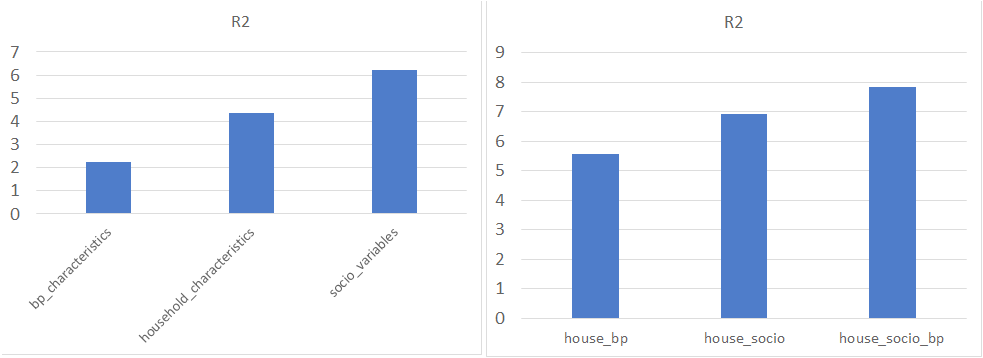


Figure 1 – Adjusted R2 (%) for the individual models (a) and for the combined models (b)

6. Conclusions

The detailed analysis clearly indicate that socio-demographic variables explain more of the variability in domestic electricity consumption. Whilst all three individual models were significant and explained a significant amount of variability in electricity consumption, the impact of household characteristic and behavioral patterns variables reduce greatly once controlling for socio-demographic variables. In terms of the importance of individual explanatory variables, findings were broadly in line with previous research, showing that number of rooms and household type are relevant for household characteristics, also, number of electrical appliances, medium power appliances and house income are the most important for socio-demographic variables and finally taking advantage of sunlight is the most significant for behavioral patterns of the household. Analysis showed that household size is not as significant as number of rooms in the household. Household labor does not also matter. Household weekly presence and social status are not significant variables which might be surprising; on the other hand, these data were taken by students and from home-owners and responses might differ in their accuracy.

Correlation matrixes show that some variables hold dependency among them, however when executing the lasso regression and looking for the best lambda, all the values for the three individual models showed to be almost zero, meaning that OLS regression was the best choice. Finally, the analysis performed here showed a lack of environmental awareness and that most households don't practice good behavioral patterns for electricity consumption. This can be seen in the significance of their determinants showed in the combined model in table 8. Hence the overall effect is small and ambiguous, as can be seen in the individual model for behavioral patterns.

References

Abrahamse, W. & Steg, L. (2009). How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings? *Journal of Economic Psychology*, 30, 711–720. doi:10.1016/j.joep.2009.05.006

Al-Bajjali, S. K. & Shamayleh, A. Y. (2018). Estimating the determinants of electricity consumption in Jordan. *Energy Policy*, 147, 1311-1320. doi:10.1016/j.energy.2018.01.010

Asamadu, S. S.. & Kofi, A. P. (2018). Determinants of Energy Consumption in Kenya: A NIPALS Approach. *Energy*, 159, 696-705. doi:10.1016/j.energy.2018.06.195

Bedir, M. & Kara, E. C. (2017). Behavioral patterns and profiles of electricity consumption in dutch dwellings. *Energy and Buildings*, 150, 339-352. doi:10.1016/j.enbuild.2017.06.015

Brounen, D., Kok, N. & Quigley, J. M. (2012). Residential energy use and conservation: Economics and demographics. *European Economic Review*, 56, 931–945. doi:10.1016/j.euroecorev.2012.02.007

Charfuelan, V. J. & Losada, M. J. (2016). Household consumption of electricity in Brazil between 1985 and 2013. *Energy Policy*, 96, 251–259. doi:10.1016/j.enpol.2016.04.030

Chunekar, A. & Sreenivas, A. (2018). Towards an understanding of residential electricity consumption in India. *Building Research and Information*, 47(1), 75-90. doi:10.1080/09613218.2018.1489476

Esmaeilimoakher, P., Urmee, T., Pryor, T. & Baverstock, G. (2016). Identifying the Determinants of Residential Electricity Consumption for Social Housing in Perth, Western Australia. *Energy and Buildings*, 133, 403-413. doi:10.1016/j.enbuild.2016.09.063

Gould, C. F., Schlesinger, S., Ochoa, T. A., Thurber, M., Water, W. F., Graham, P., Jack, D. W. (2018). Government policy, clean fuel access, and persistent fuel stacking in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 46, 111-122. doi:10.1016/j.esd.2018.05.009

Grottera, C., Barbier, C., Sanchez-Pereira, A., Weiss, A. M., Uchoa, C., Tudeschni, L. G., ... & Texeira, C. S. (2018). Linking electricity consumption of home appliances and standard of living: A comparison between Brazilian and French households. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 877–888. doi:10.1016/j.rser.2018.06.063

Hasanov, F. J., Mikayilov, J. I. (2017). The impact of age groups on consumption of residential electricity in Azerbaijan. *Communist and Post-Communist Studies*, 50 (4), 339-351. doi:10.1016/j.postcomstud.2017.09.005

Hidalgo, J., Coello, S. & Gonzalez, Y. (2018). The determinants of household electricity demand in marginal Ecuador: "A Case Study at Monte Sinai". *16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Innovation in Education and Inclusion*. doi:0.18687/LACCEI2018.1.1.312

Hidalgo, J., Crespo, T. Coello, S. & Gonzalez, Y. (2019). Household sustainable behavior evaluation and its relationship with socioeconomic indicators in the city of Guayaquil. *17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Innovation in Education and Inclusion*.

Huang, W.-H. (2015). The determinants of household electricity consumption in Taiwan: Evidence from quantile regression. *Energy*, 87, 120-133. doi:10.1016/j.energy.2015.04.101

Huebner, G. M., Hamilton, I., Chalabi, Z., Shipworth, D. & Oreszczyn, T. (2016). Understanding electricity consumption: A comparative contribution of building factors, socio-demographics, appliances, behaviours and attitudes. *Applied Energy,* 177, 692–702. doi:10.1016/j.apenergy.2015.09.028

James, G., Witten, D., Hastie, T. & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning with applications in R*. 1st ed. New York, Heidelberg, Dordrecht.

Jara, N., Reinoso, F., Isaza-Roldán, C., & Espinoza, J. (2017). Impacts on the consumption of electric power by the use of efficient refrigerators - Ecuador case. *Ingenius*. 18, 53-63. ISSN: 1390-650X

Jones, K. V., & Lomas, K. J. (2016). Determinants of high electrical energy demand in UK homes: Appliance ownership and use. *Energy and Buildings*, 117, 71-82. doi:10.1016/j.enbuild.2016.02.020

Jones, R. V., Fuertes, A., & Lomas, K. (2015). The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 901–917. doi:10.1016/j.rser.2014.11.084

Kim, M.-J. (2018). Characteristics and determinants by electricity consumption level of households in Korea. *Energy Reports*, 4, 70–76. doi:10.1016/j.egyr.2017.12.001

Lévy, J.-P. & Belaid, F. (2018). The determinants of domestic energy consumption in France: Energy modes, habitat, households and life cycles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (2), 2104-2114. doi:10.1016/j.rser.2017.06.022

Maluf, L. L & Piedade, B. M. R. (2019). Assessing the impact of Brazilian economic growth on demand for electricity. *Energy*, 172, 861-873. doi:10.1016/j.energy.2019.01.154

McLoighlin, F., Duffy, A. & Conlon, M. (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. *Energy and Buildings*, 48, 240–248. doi:10.1016/j.enbuild.2012.01.037

Pereira, U. D. A., Squarize, C. A. L., & Ziero, U. J. G. (2019). Estimation of elasticities for electricity demand in Brazilian households and policy implications. *Energy Policy*, 129, 69–79. doi: 10.1016/j.enpol.2019.01.061

Sakah, M., De la Rue du Can, S., Diawuo, F. A., Sedzro, M. D., & Kuhn, C. (2018). A study of appliance ownership and electricity consumption determinants in urban Ghanaian households. *Sustainable Cities and Society*, 44, 559-581. doi:10.1016/j.scs.2018.10.019

Singh, J., Mantha, S. S., & Phalle, V. M. (2018). Characterizing domestic electricity consumption in the Indian urban household sector. *Energy & Buildings*, 170, 74–82. doi:10.1016/j.enbuild.2018.04.002

Su, Y.-W. (2019). Residential electricity demand in Taiwan: consumption behavior and rebound effect. *Energy Policy*, 124, 36–45. doi:10.1016/j.enpol.2018.09.009

Tiang, S. A. L., & Jia, L. N. (2018). Analysing households' responsiveness towards socio-economic determinants of residential electricity consumption in Singapore. Energy Policy, 112, 415-426. doi:10.1016/j.enpol.2017.09.052

Vassileva, I., Odlare, M., Wallin, F., & Dahlquist, E. (2012). The impact of consumers' feedback preferences on domestic electricity consumption. Applied Energy, 93, 575-582. doi:10.1016/j.apenergy.2011.12.067

Webb, T. L., Benn, Y., & Chang, B. P. I. (2014). Antecedents and consequences of monitoring domestic electricity consumption. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 228-238. doi:10.1016/j.jenvp.2014.07.001

Ye, Y., Koch, S. F. & Zhang, J. (2018). Determinants of household electricity consumption in South Africa. *Energy Economics*, 75, 120-133. doi:10.1016/j.eneco.2018.08.005

Zaman, K., Khan, M. M., Ahmad, M. & Rustam, R. (2018). Determinants of electricity consumption function in Pakistan: oldwine in a new bottle. *Energy Policy*, 50, 623-634. doi:10.1016/j.enpol.2012.08.003

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 10/06/2019
Aceitação/Acceptance: 25/09/2019

Waste-To-Energy Incineration: Evaluation of energy potential for urban domestic waste in Guayaquil

J. Hidalgo-Crespo[1], Jorge Amaya[2], Freddy Jervis[2], Cesar Moreira[2], T. Crespo-Vaca[3], G. Zabala-Ortiz[2], S. Coello-Pisco[1]

jose.hidalgocr@ug.edu.ec, jlamaya@espol.edu.ec, fjervis@espol.edu.ec cemoreir@espol.edu.ec, tania.crespov@ug.edu.ec, gzabala@espol.edu.ec, silvia.coellop@ug.edu.ec

[1] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, Guayaquil, Ecuador.

[2] ESPOL Polytechnic University, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

[3] Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Médicas, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 392–403

Abstract: This study determines the composition, production rate and theoretical calorific valuation of domestic waste. A total number of 665 households were randomly selected and asked to separate their waste in 8 subfractions for a period of 2 weeks. The waste was then weighted and classified in 2 major categories: Biodegradable waste comprising 81.8% and nonbiodegradable waste comprising 18.2% of total domestic waste per day per capita for the entire sample. This study shows at city level, the role which domestic waste could play in supplying energy for the industry or the country in general and provides an estimate of the potential energy from waste. Total daily energy potential is 2.48 TJ for incineration and 1.80 TJ for methane production by anaerobic digestion. Since domestic waste is a renewable source, by its incineration the country could reduce as much as 63 thousand tons of CO2 emissions in one year replacing diesel.

Keywords: *Domestic* Waste; Incineration; Proximate and Ultimate Analysis.

1. Introduction

As the Ecuadorian society grows in population and economy, its needs increase, thus increasing waste generation. This increment in waste generation and the lack of land for disposal triggers impacts on environmental and public health. Vast amounts of solid wastes are generated from various sources such as household, markets, commercial establishments and institutions including schools, hospitals and government offices. According to the National Institute of Statistics and Censuses (INEC) in 2016, almost 13 thousand tons of solid waste were collected daily, of which 90.3% were collected in an unsorted manner and 9.7% in a sorted manner. The prevailing linear economic system accumulates waste, while depleting natural resources. Today, it is recognized that the growth without limits has caused serious environmental and social problems (Koumparou, 2018).

These problems can be alleviated through the development of a low-carbon, sustainable, competitive and resource-efficient economy. In this context, waste incineration becomes an attractive route (Pham, Huynh, Dinh, Nguyen Thi Xuan & Nguyen Thi Thu, 2016), however it may not always be a viable disposal technique though, as it largely depends on the waste characteristics (Bandara, Hettiaratchi, Wirasinghe & Pilapiiya, 2007) which in turn, is influenced by explanatory variables such as household characteristics (Senzige, Makinde, Njau & Nkansah-Gyeke, 2014) , sociodemographic (Suthar & Singh, 2015) and behavioral patterns of the inhabitants, (Ying-Chu, 2018). In previous work (Hidalgo, Amaya, Jervis & Moreira, 2019) identified how domestic waste generation varies according to household size, social status, labor force, income per capita and household education. They used ordinary least square regression to identify the significance of these explanatory variables relating them with total domestic waste per day per household (kg). This showed an attempt to draw a baseline to ensure an integral waste management strategy for our developing economy.

Incineration seems as an option to reduce the environmental impacts of urban solid waste. Experiences from some developed countries show that Municipal Solid Waste (MSW) incineration is an effective way for centralized MSW disposal (Wang et al., 2018; Wen, Di, Liu, Han & Chi Kin Lee, 2018). It can achieve remarkable benefits by maximizing the overall energy efficiency and reducing emissions, for example optimizing for co-generation of heat and power in areas with high heat demand (Dong et al., 2018). However, ascertaining the feasibility of incineration is crucial prior to technology (Roshni, Dinesh & Babu, 2019). The aim of this paper is to present the domestic waste composition for the city and theoretical calculations for determining calorific heating value using proximate and ultimate analysis to determine its low heating value (LHV) and the methane possible production if it gets degraded in a biodigester. Our data was collected from 665 households randomly selected from the city of Guayaquil.

In section 2, the literature review is presented, showing all state-of-the-art information on domestic waste incineration. Then in section 3, Ecuador review, we examine the country´s current situation and most important data. After, in section 4, the methodology section describes the data set and how it was obtained, and the different fractions that compose the city waste, and finally in section 4, results are presented in the form of calculations and values for the high and low heating values and also the possible methane production of the waste.

2. Literature Review

Every year the population increases exponentially, as it does the waste generation. The current practices to manage waste in the country, i.e. landfills, open dumps and waste batteries are not sustainable; as they all require land availability. It is important to emphasize that the useful life of the landfills is extremely limited if compared to a processing plant, disregarding of its type; for instance, incineration, gasification or anaerobic digestion among others. The use of the mentioned technologies would increase the useful life of the landfills, decreasing the mass and volume of the waste that would only be disposed of as final waste produced by these technologies (Dalmo et al., 2019).

Waste-to-energy incineration provides an effective solution for efficient and effective municipal solid waste (MSW) disposal and plays an important role in the regional circular economy and sustainable urban development (Liu et al. 2019). According to Makarichi, Jutidamrongphan & Techato (2018), the trend in MSW generation globally suggests that waste volumes requiring incineration continue to rise as this is an effective way of reducing residual waste that needs landfilling, with the added benefit of providing renewable energy. With land for new landfills establishment becoming scarce in most urban settlements, there is need to evaluate the potential of waste incineration.

In several countries, the use of waste to generate energy could have a significant impact, both in the electricity generation and in heating purposes. The calorific value of waste provides good opportunities for energy generation, as a cheap and readily available source, which can contribute to increase energy access while diminishing the use of land and possible contamination of underground water (Scarlat, Motola, Dallemand, Monforti-Ferrario & Mofor, 2015). Energy production depends on the composition of MSW, particularly paper and plastics. To evaluate the feasibility of energy recovery as an integral part of solid waste management system, it is of great importance to determine its proximate and ultimate analysis and heating value (Zhou, Meng, Long, Li & Zhang., 2014).

3. Ecuador Current Waste Generation

Guayaquil is the largest and most populated city in Ecuador with about 2.70 million people in the metropolitan area. Guayaquil is located on the western bank of the Guayas River and is the capital of the Ecuadorian province of Guayas.; the city is the nation's principal commercial and manufacturing center. This city shows considerably variation with respect to socioeconomic conditions and it´s considered to be representative for the province of Guayas, for instance. According to the last census of population and housing (2010), from a total of 413 thousand households, 35 % where located in the southwest of the city, 28 % in the northeast, 25 % in the southeast and 12% in the northwest. Importantly, Guayaquil waste is collected unsorted by trucks with a differentiated schedule among neighborhoods; then it is buried in landfills.

Every year the country generates approximately 4.96-millon tons of waste according to the Environmental Ministry of Ecuador (2014). The Census of Environmental Information of the Autonomous Decentralized Municipal Governments (2012) revealed that Ecuador´s household waste composition is mainly composed by 63.3% organic waste, followed by 12% plastics, 3% of glass, 2% of metal, 1% of wood, 5% of paper, 5% of cardboard and 1% of scrap metal. The average of waste produced in the urban areas in Ecuador is 0,686 Kg/capita/day. Organic waste is the major component of every single province of Ecuador. Inorganic waste shows a higher percentage in the provinces with a larger population number, i.e. Quito, Cuenca, and Loja.

4. Methodology

The main objective of this research was the quantification of the potential of waste for energy production in Ecuador. This paper provides the maximum theoretical potential

of energy that can be recovered from waste. The estimations considered for this study include only domestic waste production and collection in urban areas, where the garbage truck can access.

4.1. Data set

Household solid waste is a heterogenous residue, and its generation rates vary from place to place. To estimate with precision the average quantities and composition of waste, it was necessary to execute a statically designed sampling survey. Logically, the accuracy of the sampling would increase with the number of samples; nevertheless, this number had to be restricted due to the available resources. The procedure used to determine the minimum number of samples needed to gather reasonably accurate data was based on the central limit theorem, also applied by Guadalupe Gomez, 2008. The central limit theorem is established with the condition that the sample size is sufficiently large (Xue-feng, Fe-bao & Xu-zhu, 2017). The number of samples was determined with a 99% confidence interval and a 5% standard error, for a population of 413 thousand households, using the following equation:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{e^2 * (N-1) + k^2 * p * q} \quad (1)$$

where n is the minimum number of samples, k is a constant that depends on the level of confidence (for 99% confidence k is 2.575), e is the sampling error (5%), p is the proportion of inhabitants that possess the characteristic we seek, and q is the number of inhabitants that don`t possess it (For this case is 0.5 for each one). After using this equation, the number of households needed to obtain a 5% standard error with 99% level of confidence is 662.

4.2.Sample collection procedure

Considering that there are no previous studies for domestic waste generation for the city of Guayaquil, this is the first attempt for classifying, determining the calorific value and the biogas potential generation of this type of waste. For this purpose, a general university project was elaborated for students of two local universities of the city for a period of two semesters in 2018. A total of 140 students participated between both universities, each of them with five households including their own (4 neighbors + own home). In the process, they were capacitated and asked to give their neighbors the same capacitation. A digital hanging scale and 8 different colored polyethylene bags for each type of waste per household (table 1) were handed to them. The project occurred during two weeks in the months of June and November. Students that participated would weight every two days each colored bag per household and registered the data. Table 1 shows the quantity and color of the bags given to each household. Only the organic waste was thrown to the garbage collection place every couple of days, the other 7 types of waste were stored in each household for one week, after which they were also thrown away.

Type of Waste (Code)	Color	# Bags
Organic Waste (OW)	Black	14
Plastic Waste (PW)	Blue	2
Glass Waste (GW)	Green	2
Metal Waste (MW)	Gray	2
Paper&Cardborad Waste (PCBW)	White	2
Fabric Waste (FW)	Yellow	2
Dust&Ashes Waste (DAW)	Brown	2
Miscellaneous Waste (MSCW)	Red	2

Table 1 – Characteristics of polyethylene bags.

The step by step procedure to register the data by the students was as follows:

- Information such as neighborhood, location (northeast, northwest, southeast, southwest), telephone number and garbage truck collection schedule were taken from the students participating in the project.
- Sample sheets formats were personalized per student to write down the weight information.
- Students were instructed in the project and given a digital luggage scale and 5 times the amount of color bags cited in table 1.
- The first day of the project, students gave 1 plastic bag of each color to every household.
- Every two days, students weighed each plastic bag and threw away the one with organic waste and the other seven were returned to the family to continue accumulating waste. These seven were thrown away each week. Whenever a bag was thrown away, they would replace it with a new one.

The households were stratified into five different socioeconomic groups based on income, owned electronic devices, types of jobs and others. The data was collected by means of surveys with the objective of measuring the socioeconomic group scale ranged from 0 to 1000.

- Low socio-economic group: threshold < 316 (LSEG)
- Middle low socioeconomic group: threshold between 316.1 - 535 (MLSEG)
- Middle socioeconomic group: threshold between 535.1 - 696 (MSEG)
- Upper middle socioeconomic group: threshold between 696.1 - 845 (UMSEG)
- High socioeconomic group: threshold between 845.1 – 1000 (HSEG)

4.3. Proximate and ultimate analysis for the domestic waste

The composition of domestic waste can be complicated and is impacted by a number of factors. As shown in table 1, this paper focuses on eight categories of typical components,

namely organic waste (which is kitchen residues), plastic, glass, metal, paper and cardboard, fabric and dust and ashes. The component miscellaneous waste is dangerous residues such as batteries, burnt lights, and more. This waste is not considered for the composition analysis.

Due to this complexity, different studies were considered (Zhou et al., 2014; Tchobanoglous, Theissen & Eliassen, 1982), to theoretically obtain the thermochemical properties (Korai, Mahar, & Uqaili, 2016; Siang Piao Chai & Ridzuan Zakaria, 2006; Baawain, Al-Mamum, Omidvarbona & Al-Amri, 2017) of each of the components of our domestic waste sample (Khuriati, Setia Budi, Nur, Istadi & Gatot Suwoto, 2017) . In table 2, we can see the mean values obtained from the research for each of the elements of every component of the waste. The elemental composition of each component of waste follows the sequences: C>H>O>N>S.

4.4. Heating Value Calculations

The incineration or combustion of the domestic waste is one of the thermochemical processes aiming reduction of the volume and mass through its complete oxidation. Energy generation from incineration takes place through the Rankine cycles with steam generating boilers, conducted through steam turbines, which drive electric generators that generate the electric power (Dalmo et al., 2019). The knowledge of the composition, quantity and physical-chemical properties of the waste to be incinerated is a fundamental and necessary part for the correct design of the process.

Components	Proximate Analysis (wt%)		Ultimate Analysis (wt%)				
	M_w	A_d	C_{daf}	H_{daf}	O_{daf}	N_{daf}	S_{daf}
OW	72.68	9.60	43.77	7.28	45.81	2.63	0.48
PW	0.86	5.13	68.59	7.26	14.89	0.09	0.27
GW	1.03	99.14	54.47	12.48	18.18	14.86	0.00
MW	2.05	92.77	66.53	5.88	22.63	4.96	0.00
PCBW	7.78	9.28	45.81	7.22	46.41	0.28	0.28
FW	6.63	3.84	53.32	6.24	33.11	1.26	0.23
DAW	6.49	68.00	82.19	9.38	6.25	1.56	0.63

Table 2 – Proximate and ultimate analysis of domestic waste.

Remark: C, carbon content; H, hydrogen content; O, oxygen content; N, nitrogen content; S, sulfur content; M, moisture content; A, ash content, daf, dry ash free basis; w, wet basis; d, dry basis.

From the characterization it is possible to calculate the stoichiometry of combustion, and the high (HHV) and low heating values. The calorific value of any substance is defined as the heat resultant of the complete oxidation (combustion) of a unit of weight under specific conditions. A distinction must be made between HHV and LHV. The calorific value is higher if the products are dry (no moisture present); and it is lower if there is

moisture in them. Following the steps of Dalmo et al., 2019, the basic chemical formula for any fuel, such as domestic waste, can be developed as follows:

$$CH_{y/x}O_{z/x}N_{u/x}S_{w/x} \tag{2}$$

Values of y/x, z/x, u/x and w/x are the ratios between the moles of the substance and the moles of carbon. The HHV and LHV can be obtained by:

$$HHV = 0.3491 * X_C + 1.1783 * X_H + 0.1005 * X_S - 0.1034 * X_O \left[\frac{MJ}{kg}, db\right] \tag{3}$$

$$LHV = HHV * \left(1 - \frac{M_W}{100}\right) - 2.444 * \left(\frac{M_W}{100}\right) - 2.444 * 8.936 * \left(\frac{H}{100}\right) * \left(1 - \frac{M_W}{100}\right) \left[\frac{MJ}{kg}, wb\right] \tag{4}$$

5. Results

Domestic waste generation rates and composition vary among socioeconomic groups. Table 3 shows the amounts of waste generated in the city of Guayaquil per capita and per day. Average total waste generation for each household is he highest for UMSEG and the lowest for MLSEG. Something to have in consideration is that plastic waste generation value is higher for LSEG than HSEG. In table 4 we can see the mean values and standard deviation for each waste component. Total average domestic waste accounts for 2.45 kg daily, from which 75% is organic (kitchen waste), followed by plastic with 8% and paper & cardboard with 6%. Biodegradable waste is 81.8% and nonbiodegradable waste comprise 18.2% by weight of total domestic waste per day per capita for the entire sample

Type of Waste	LSEG	MLSEG	MSEG	UMSEG	HSEG
OW	1.7195	1.6707	1.9166	1.8070	1.9741
PW	0.3050	0.1857	0.1766	0.1944	0.2324
GW	0.0098	0.0505	0.0645	0.0692	0.1105
MW	0.0129	0.0449	0.0329	0.0373	0.0806
PCBW	0.2309	0.0912	0.1242	0.1540	0.2319
FW	0.0583	0.0707	0.0302	0.0373	0.1109
DAW	0.0523	0.0617	0.0679	0.0925	0.0889
MSCW	0.1040	0.0331	0.0379	0.6060	0.0925
Total Waste	**2.4927**	**2.2085**	**2.4508**	**2.9980**	**2.9218**

Table 3 – Average domestic waste daily generation per socioeconomic group.

Given that the MSCW has not been taken in consideration, table 4 also shows the percentages (b) as if only the other 7 components were the whole waste. Total daily waste per household not considering MSCW accounts for 2.4038 kg. For the total waste, proximate and ultimate analysis were: Moist (56.68%), Ashes (14.89%), Carbon

(47.95%), Hydrogen (7.44%), Oxygen (40.73%), Nitrogen (2.61) and Sulphur (0.43%). Table 5 shows the chemical formulas, HHV and LHV for all seven types of waste. Results suggests that plastic, glass and metal wastes values are better. However, high moisture values from the mix decrease significantly the calorific value from 21 to 7 MJ/kg.

Type of waste	Mean (SD)	Percentage[a]	Percentage[b]
OW	1.8443 (1.7114)	75.1548	76.7244
PW	0.1899 (0.2514)	7.7384	7.9000
GW	0.0673 (0.1237)	2.7425	2.7997
MW	0.0400 (0.1083)	1.6300	1.6640
PCBW	0.1395 (0.2339)	5.6846	5.8033
FW	0.0458 (0.2052)	1.8663	1.9053
DAW	0.0771 (0.1672)	3.1418	3.2074
MSCW	0.0502 (0.1561)	2.0456	0.0000
TOTAL	**2.4540 (1.9920)**	**100.0000**	**100.0000**

Table 4 – Average daily domestic waste composition generation.

Guayaquil has approximately 413 thousand households. This represents a total amount of almost 993 tons of waste every day, with a maximum potential energy of 21.19 TJ and a minimum of 7.10 TJ.

Type of waste	Chemical Formula	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)
OW	$CH_{1.9957}O_{0.7848}N_{0.0515}S_{0.0041}$	19.1710	3.0264
PW	$CH_{1.2698}O_{0.1628}N_{0.00108}S_{0.0014}$	30.9862	29.1258
GW	$CH_{2.7497}O_{0.2503}N_{0.2339}$	31.8441	28.7940
MW	$CH_{1.0606}O_{0.2551}N_{0.0369}$	27.8125	25.9344
PCBW	$CH_{1.8904}O_{0.7598}N_{0.0053}S_{0.0023}$	19.7258	16.5483
FW	$CH_{1.4048}O_{0.4657}N_{0.0202}S_{0.0016}$	22.5698	19.6385
DAW	$CH_{1.3688}O_{0.0570}N_{0.0163}S_{0.0029}$	39.1548	34.5424
TOTAL	$\boldsymbol{CH_{1.8633}O_{0.06371}N_{0.0467}S_{0.0034}}$	**21.3417**	**7.1553**

Table 5 – Average daily domestic waste composition generation.

6. Discussion

All components of waste showed elevated HHV´s, however the high share of organic waste and given that it represents (almost 72% of all the mix) becomes a problem due to a higher moisture content; plus, the ignition front temperature and average temperature decreases (Ligang Liang, et al., 2008). Also, moisture evaporation consumes great amounts of heat and can take up most of the incineration time; affecting significantly the total time of combustion and reducing the amount of heat available. (Sun, Ismail, Ren & El-Salam, 2015).

Use of solar energy is a widely-practiced strategy, usually the cheapest, to reduce moisture content in many materials, especially in tropical countries with high levels of solar irradiation. Several authors (Asha P. Tom, Renu Pawels & Ajit Haridas, 2016; Mohammed, Ozbay, Karademir & Isleyen, 2017; Tambone, Scaglia, Scotti & Adani, 2011; Li-Ming, Zhong-He, Hua Zhang, Dong-Qing & Pin-Jing, 2010) mention biodrying process as an alternative. Biodrying is a convective evaporation process, which utilizes the biological heat developed from the aerobic reactions of organic components. Biodrying can enhance the sortability and heating value of solid waste, consequently improving energy recover. The biodried material reduces, also, the potential impacts of the waste, i.e. potential self-ignition and potential odors production.

Best heating values were given by plastic, glass and metal wastes, however some of them may have traces of chlorine or other pollutants that need to be treated after incineration. Total potential energy from domestic waste is high with a minimum of 7.10 TW per day. For thermal power plants, some authors show a thermal conversion efficiency of approximately 35% (Xu et al., 2019; Chinweuba Eboh, Ahlstrom & Richards, 2019), which would mean a possible daily electric production of 2.485 TW from waste incineration.

According to publications of Diario Expreso and El Comercio, 2018, for the industrial sector, diesel is an important energy resource. On average, 212.4 million gallons of this fuel are used per year, according to the National Chamber of Petroleum Derivatives Distributors of Ecuador (CAMDDEPE). However, concern exists amongst industrial shareholders, because of the future uncertainty of diesel prices, which could lead to increase the price product or reduce profits to companies. For this purpose, biomass pellets from domestic waste, may give an opportunity, although changing industry´s source of energy would take time.

The country needs approximately 3,092.5 TJ of this fuel per year (1 gallon of diesel = 14,559.77 kJ). Total available annual energy from domestic waste considering LHV is 907.03 TJ (2.48 TJ daily), which represents 29.33% of the demand. Using waste potential energy, would mean a diminish of approximately 62 million gallons of diesel every year. Each gallon of burnt diesel produces about 22.38 pounds (10.17 kgs) of CO2, according to U. S. Energy Information Administration. Since biowaste is a renewable source, the country could reduce as much as 63 thousand tons of CO2 emissions in one year.

Another possible solution is the anaerobic digestion of domestic waste to generate methane and COD concentrated fluid which has to be eliminated after. Yang et al., 2018, found that for a feedstock of 25000 (moist of 64%) tons of waste per year, they could generate 72 million standard cubic feet (scf) of methane with a calorific value of 631 kJ

per scf of methane, 8518 tons of residues and 10363 tons of effluent. Then for our total waste of 993 tons per day with moist of 56%, we calculate a potential daily generation of 2.86 million scf of methane with a calorific value of 1.80 TJ per day. Comparing both solutions, incineration offers higher energy disposal.

7. Conclusions

The physical components of Guayaquil domestic waste followed the decreasing sequence of organic > plastic > paper&cardboard > dust&ashes > glass > fabric > metal. Mean elementary values were obtained from different authors to calculate the chemical formula, proximate and ultimate analysis of our waste. Being an economy directed country, ascertaining the feasibility of incineration is crucial prior to technology selection. The chemical characteristics should be considered for thermal conversion process of the city´s domestic waste, such as the design of incinerator. Biodrying could remove water by air ventilation and heat produced from biodegradation and has been regarded as a good solution to reduce water content of domestic waste.

Finally, waste to energy incineration can achieve remarkable benefits by maximizing the overall energy efficiency and reducing emissions, for example optimizing for co-generation of heat and power in areas with high heat demand and replacing other fuels in the industry or by generating methane for electricity production. Also, important advantages can also be achieved by recycling of metals, plastics and glass, especially regarding the high amount of ashes that these components of waste generate.

Further research could concentrate in measuring the potential of this waste to obtain biodiesel, another viable choice to diminish the amount of waste while providing energy.

References

Asha,, P. T., Renu P., & Ajit, H. (2016). Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content. *Waste Management*, 49, 64-72. doi:10.1016/j.wasman.2016.01.004

Baawain, A., Al-Mamun, A., Omidvarborna, H., & Al-Amri, W. (2017). Ultimate composition analysis of municipal solid waste in Muscat. *Journal of Cleaner Production*, 148, 355-362. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.013

Bandara, N. J. G. J., Hettiaratchi. J. P. A., Wirasinghe, S. C., & Pilapiiya, S. (2007). Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study. *Environ Monit Assess*, 135, 31–39.

Cesar, D. F., Machado, S. N., Quevedo, L. H., Medina, J. A. C., Nebra, S., Martins, G., ... Mello, S. P. H. (2019). Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State. *Journal of Cleaner Production*, 212, 461-474. doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.016

Chen, Y.C., (2018). Effects of urbanization on municipal solid waste composition. *Waste Management*, 79, 828-836. doi: 10.1016/j.wasman.2018.04.017

Dong, J., Tang, Y., Nzihou, A., Chi, Y., Weiss-Hortala, E., Ni, M., & Zhou, Z. (2018). Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China. *Journal of Cleaner Production*, 203, 287-300. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.139

Eboh, F. C., Ahlström, P., & Richards, T. (2019). Evaluating improvements in a waste to-energy combined heat and power plant. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14. doi:10.1016/j.csite.2019.100476

Hidalgo, J., Amaya, J., Jervis, F., & Moreira, C. (2019). Influence of socio-economic factors on household solid waste (HSW) generation of the city of Guayaquil, Ecuador. *Proceedings of the sixteen laccei international multi-conference for engineering, education and technology*.

Hui Z., AiHong, M., YanQiu, L., & YanGuo, Z. (2014). An overview of characteristics of municipal solid waste fuel in China: Physical, chemical composition and heating value. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 107–122. doi: 10.1016/j.rser.2014.04.024

Khuriati, A., Budi, W. S., Nur, M., Istadi, I., & Suwoto G. (2017). Modeling of heating value of municipal solid waste based on ultimate analysis using multiple stepwise regresion linear in Semarang. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(9), 2870-2876.

Koumparou, D. (2017). Circular economy and social sustainability. *Proceedings of solid waste management & its contribution to circular economy*.

Ligang L., Ruin, S., Jun, F., Shaohua, W., Xiang, L., Kui, D., & Na, Y. (2008). Experimental study on effects of moisture content on combustion characteristics of simulated municipal solid wastes in a fixed bed. *Bioresource Technology*, 99, 7238–7246. doi:10.1016/j.biortech.2007.12.061

Li-Ming, S., Zhong-He, M., Hua, Z., Don-Qing, Z., & Pin-Jing, H. (2010). Bio-drying and size sorting of municipal solid waste with high water content for improving energy recovery. *Waste Management*, 30, 1165–1170. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.011

Liu, Y., Ge, Y., Xia, B., Cui, C., Jiang, X., & Skitmore, M. (2019). Enhancing Public Acceptance towards Waste-to-Energy Incineration Projects: Lessons Learned from a Case Study in China. *Sustainable Cities and Society*, 48. doi:10.1016/j.scs.2019.101582

Makarichi, L., Jutidamrongphan, W., & Techato, K.-A. (2018). The evolution of waste-to-energy incineration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 812-821. doi: doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088

Mohammed, M., Ozbay, I., Karademir, A., & Isleyen, M. (2017). Pre-treatment and utilization of food waste as energy source by bio-drying process. *Energy Procedia*, 128, 100–107. doi:10.1016/j.egypro.2017.09.021

Petro, S. J., Oluwole, M. D., Nicolas, N. K., & Nkansah-Gyeke, Y. (2014). Factors influencing solid waste generation and composition in urban areas of Tanzania: The case of Dar-es -Salaam. *American Journal of Environmental Protection*, 3(4), 172-178.

Pham. T. T. T, Huynh, Q. D., Dinh, Q. T., Nguyen, T. X. H., & Nguyen T. T. (2016). The effects of socio-economic factors on household solid waste generation and composition: A case study in Thu Dau Mot, Vietman. *Energy procedia*, 107, 253-258. doi:10.1016/j.egypro.2016.12.144

Roshni, M. S., Dinesh, K., & Babu, J. A. (2019). A technique to quantify incinerability of municipal solid waste. Resources, *Conservation & Recycling*, 140, 286–296. doi:10.1016/j.resconrec.2018.09.022

Safar, K. M., Bux, M. R., & Aslam, U. M. (2016). Estimation of energy potential from organic fractions of municipal solid waste by using empirical models at Hyderabad, Pakistan. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 35(1), 129-138.

Scarlat, N., Motola, V., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., & Mofor, L. (2015). Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1269–1286. doi:10.1016/j.rser.2015.05.067

Siang, P. C., & Ridzuan, Z. (2006). Investigation on combustion characteristics of municipal solid waste from Penang State Malaysia. *Proceedings of the 4th International Conference on Combustion, Incineration/Pyrolysis and Emission Control.*

Sun, R., Ismail, T. M., Ren, X., & El-Salam, M. A. (2015). Numerical and experimental studies on effects of moisture content on combustion characteristics of simulated municipal solid wastes in a fixed bed. *Waste Management*, 39, 166-178. doi:10.1016/j.wasman.2015.02.018

Suthar, S., & Singh, P. (2015). Household solid waste generation and composition in different familysize and socio-economic groups: A case study. *Sustainable Cities and Society*, 14, 56–63. doi:10.1016/j.scs.2014.07.004

Tambone, F., Scaglia B., Scotti, S., & Andani F. (2011). Effects of biodrying process on municipal solid waste properties. *Bioresource Technology*, 102, 7443–7450. doi:10.1016/j.biortech.2011.05.010

Wang,Y., Zhang, X., Liao, W., Wu, J., Yang, X., Shui, W., ... Peng, H. (2018). Investigating impact of waste reuse on the sustainability of municipal solid waste (MSW) incineration industry using emergy approach: A case study from Sichuan province, China. *Waste Management*, 77, 252-267. doi:10.1016/j.wasman.2018.04.003

Wen, Z., Di, J., Liu, S., Han, J., & Chi, k. L. J. (2018). Evaluation of flue-gas treatment technologies for municipal waste incineration: A case study in Changzhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 184, 912-920. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.282

Xu, H., Lin, W. L., Dal Magro, F., Li, T., Py, X., & Romagnoli, A. (2019). Towards higher energy efficiency in future waste-to-energy plants with novel latent heat storage-based thermal buffer system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 324–337. doi:10.1016/j.rser.2019.05.009

Zhang, X.-F., Yang, F.-B., & Wang, X.-Z. (2017). A theorem for calculation of the appropriate sample size in an estimatio . *Chaos, Solitons and Fractals*, 104, 291–297. doi:10.1016/j.chaos.2017.08.015

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/05/2019
Aceitação/Acceptance: 26/07/2019

Plataforma Web de predicción de viento basado en técnicas de inteligencia artificial con el uso del método ARIMA: Caso de estudio

Stalin Ramírez[1], Jesús Guamán Molina[2], Alberto Ríos Villacorta[2], David Guevara[2], Rubén Nogales[2]

stalin.ramirez180@comunidadunir.net, {jguaman0585, a.rios, dguevara, re.nogales}@uta.edu.ec

[1] UNIR - Universidad Internacional de la Rioja, Quito, 1701, Quito, Ecuador.

[2] Facultad de Ingeniería Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 1801, Ambato, Ecuador.

Pages: 404–416

Resumen: En el siguiente artículo se presenta el desarrollo de una aplicación web interactiva para realizar un pronóstico de la velocidad de viento con modelos que trabajen sobre series temporales. El estudio elaborado corresponde a una investigación exploratoria, con elementos descriptivos y explicativos, que incluyen el análisis de datos históricos y del comportamiento de la velocidad del viento, a través de técnicas de aprendizaje no supervisado. Para el análisis de la información y la predicción se utilizó la herramienta informática R. Para el desarrollo del aplicativo web se utilizó Shiny del repositorio r-cran que facilita la creación de aplicaciones web interactivas directamente desde R. Los resultados obtenidos señalaron que el uso de modelos ARIMA para el pronóstico sobre series temporales es aceptable alcanzando un AIC de -130328.1 y un BIC de -130278. Los modelos ARIMA son un buen punto de partida para realizar modelos predictivos más complejos y de mayor confiabilidad.

Palabras-clave: Predicción; velocidad del viento; redes neuronales artificiales; ARIMA; series de tiempo.

Web platform for wind prediction based on artificial intelligence techniques with the use of the ARIMA method: Case study

Abstract: The purpose of the following article is to develop an interactive web application to make a forecast with models that work on time series. The study carried out corresponds to an exploratory investigation, with descriptive and explanatory elements, which include the analysis of historical data and the behavior of wind speed, through unsupervised learning techniques. For the analysis of the information and the prediction, R. was used for the development of the web application Shiny of the r-cran repository that facilitates the creation of interactive web applications directly from R. The results obtained indicated that the use of

ARIMA models for the forecast on time series is acceptable reaching an AIC of -130328.1 and a BIC of -130278. In addition, it was possible to conclude that this type of analysis with ARIMA models is a good starting point to make more complex and reliable predictive models.

Keywords: *Prediction; wind speed; artificial neural networks; ARIMA; time series.*

1. Introducción

Las fuentes de energía renovables han sido el centro de atención por la población mundial en los últimos años, ya que han contribuido en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero e impactos ambientales. (Lópes P., Velo R., 2007). La energía eólica es una de las fuentes alternativas qué a partir del viento, proporciona energía electrica a un bajo costo, por lo que se ha convertido en la más predominante a nivel mundial. En Europa la energía eólica representa alrededor del 10% del consumo de energía y más del 15% en países como España, Alemania o los Estados Unidos (Carolin Mabel & Fernandez, 2008). El precios fluctuante del petróleo de los últimos años ha incentivado el uso de fuentes alternativas de energía con la finalidad de mitigar el impacto de la dependencia del petróleo (Salcedo-Sanz et al., 2009). Una de las fuentes de energía más utilizadas es la energía eólica, debido a su distribución y reservas del recurso. Sin embargo, a medida que la velocidad del viento fluctúa de forma incierta en todo momento, la energía eólica inyectada a la red puede afectar la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico de potencia (SEP). La importante de determinar la velocidad del viento resulta un punto crítico en análisis del (SEP). Lo cual se puede lograr a partir de la aplicación de redes neuronales que son un modelo computacional que se presenta como un enfoque de modelado diferente para resolver problemas complicados de variables estocásticas (Ata, 2015).

La necesidad de incrementar el aporte de las energías renovables no convencionales dentro de la matriz productiva en el Ecuador es cada vez mayor (Nacional Secretaría de Planificación y Desarrollo, 2015). En este contexto, se promueve la investigación de estas nuevas tecnologías en instituciones públicas y privadas para la integración de energías renovables en el sistema eléctrico del país. La Universidad Técnica de Ambato es una de estas, en el proyecto de investigación aprobado en, (Honorable Consejo Universitario, 2018), se realiza una propuesta para la predicción del potencial eólico a corto plazo sobre terrenos complejos de gran altitud, mediante el uso redes neuronales sobre una plataforma Cloud de gestión. El desarrollo tecnológico de la computación de los últimos años ha permitido que la misma se aplique a varios campos de la investigación (Quezada & Mengual, 2017; Muñoz & Mejia, 2019). Los modelos de predicción de energía eólica han experimentado una amplia mejora y expansión en los últimos años. Los modelos se dividen preliminar memento en métodos deterministas y análisis de incertidumbre (Liu, Chen, Lv, Wu, & Liu, 2019).

Para el pronóstico de la velocidad de viento se ha hecho uso de datos de medición realizadas desde el 14 de enero de 2018 al 16 de agosto de 2018 con un total de más de 30.000 registros tomadas en intervalos de 10 minutos cada una. Entre los datos que se pretende analizar existe información de la velocidad del viento (m/s), temperatura (grados centígrados) entre otros.

El principal aporte de esta investigación es el desarrolló de una aplicación web reactiva/interactiva que permita seleccionar cualquier dataset de tipo CSV de diferentes torres meteorológicas para la predicción y visualizar de la velocidad de viento en un horizonte de 24 horas. Además, visualizar gráficos con técnicas estadísticas (Descomposición, Modelo Residual) para verificar si el modelo predictivo es el adecuado y poder conocer la exactitud del pronóstico.

Este documento está organizado de la siguiente manera. En la sección 1, se describe brevemente una introducción al tema de estudio como es la predicción del viento con redes neurales. En la sección 2, se presenta el estado del arte, enfocado en un análisis híbrido basado en ARIMA a través de ARIMA, KF, y ANN. La sección 3 muestra los objetivos principales, específicos y metodología de trabajo a cumplirse con la realización de este trabajo. La sección 4 muestra el tratamiento de los datos, estudio y procesamiento realizados en la investigación. La sección 5 describe las conclusiones obtenidas y trabajos futuros para mejorar los resultados obtenidos.

2. Estado del arte

En la actualidad existen múltiples trabajos de investigación sobre el pronóstico de la velocidad del viento utilizando redes neuronales artificiales conocidas por sus singlas en inglés como (NNA). En esta sección se presenta los trabajos más relevantes en referencia el tema anteriormente mencionado.

En primer lugar, presentamos a D. Lee, en su investigación ha diseñado un modelo de pronóstico que consta de 52 submodelos Neural Networks (NN) y 5 modelos Gaussian Process (GP) en paralelo, llegando a la conclusión que los submodelos de NN son excelentes para trabajar como una curva de potencia, y los submodelos de GP para el aprendizaje de las series de tiempo (Lee & Baldick, 2014).

A continuación, Diez, R. señala el uso de redes neuronales para el cálculo de previsiones de la velocidad y dirección del viento en un punto geográfico especifico. La obtención de estos pronósticos se realiza el uso de metodologías tradicionales de previsión como son los modelos ARIMA de Box-Jekins. Concluyendo que para el problema del pronóstico a corto plazo utilizaron un método de entrenamiento selectivo en la que la red neuronal entrena solo ejemplos significativos en relación con el estado actual del pronóstico (Pino Diez, Parreño Fernández, Paolo Priore, 2004).

En la investigación realizada por Shi, Z. concluye que con la idea de los intervalos de predicción (IP) se emplea para captar la incertidumbre de la generación de energía eólica en los sistemas de energía. El modelo de red neuronal recurrente (RNN) se propone para construir IP con el método de estimación de límite superior inferior (LUBE), que es un enfoque de pronóstico no paramétrico potente. Además, diseñó una nueva función de costo integral con un nuevo índice de evaluación de PI con el propósito de mejorar la capacitación del modelo. Para ajustar los parámetros del modelo de predicción RNN, presenta el algoritmo de libélula (DA) con un método de actualización de peso linealmente aleatorio como herramienta de optimización (Shi, Liang, & Dinavahi, 2018).

De la literatura se puede concluir que las investigaciones hacen uso de modeles estadístico o redes neuronales para predecir el comportamiento del viento a corto o

largo plazo. El objetivo principal de esta investigación es identificar un modelo para la predicción del viento. Además, dotar de una herramienta que permita realizar este tipo de pronósticos con distintas fuentes de datos de diferentes torres eólicas para coadyuvar al macroproyecto de la Universidad Técnica de Ambato.

3. Análisis y tratamiento de los datos

El conjunto de datos para el estudio se obtuvo de una torre meteorológica ubicada en la comunidad Mechahuasca entre los nevados Chimborazo y Carihuayrazo perteneciente a la cordillera de los Andes en Ecuador. La torre meteorológica, tiene una altura de 34 metros y cuenta con varios sensores que entregan información como temperatura (ºC), presión atmosférica (nPa), dirección del viento (º), humedad relativa (%), radiación solar (W/m2), variables necesarios para el análisis de predicción de viento. La torre además cuenta con 3 sensores anemómetros instalados a 10, 20, 30 metros de altura, estos sensores registran los siguientes datos: Promedio de la velocidad del viento (m/s), Desviación estándar de la velocidad del viento (m/s), Velocidad máxima (m/s) y Velocidad mínima (m/s) (Honorable Consejo Universitario, 2018).

En la Tabla 1 se listan y describen las variables que contiene el dataset de la torre meteorológica.

Variables	Descripción
Date & Time Stamp	Tiempo y hora, el intervalo entre cada registro es de 10 min (10 minutales)
WS30Avg	Promedio de la velocidad del viento a 30 metros de altura.
WS30SD	Desviación estándar de la velocidad del viento a 30 metros de altura
WS30Max	Velocidad máxima a 30 metros de altura
WS30Min	Velocidad mínima a 30 metros de altura
WS10Avg	Promedio de la velocidad del viento a 10 metros.
WS10SD	Desviación estándar de la velocidad del viento a 10 metros de altura
WS10Max	Velocidad máxima a 10 metros de altura
WS10Min	Velocidad mínima a 10 metros de altura
WS20Avg	Promedio de la velocidad del viento a 20 metros.
WS20SD	Desviación estándar de la velocidad del viento a 20 metros de altura
WS20Max	Velocidad máxima a 20 metros de altura
WS20Min	Velocidad mínima a 20 metros de altura

Tabla 1 – Variables exportadas por los sensores meteorológicos

En la Figura 1, se presentan una muestra de los datos del promedio de la velocidad del viento a 30 metros de altura. Como se puede observar el perfil de viento presenta características de una serie de tiempo no estacional (Alonso, 2016). Se dice que una serie es estacionaria cuando su media, varianza y auto covarianza son invariantes en el tiempo, esto se comprobará mediante pruebas estadísticas en los puntos consecuentes.

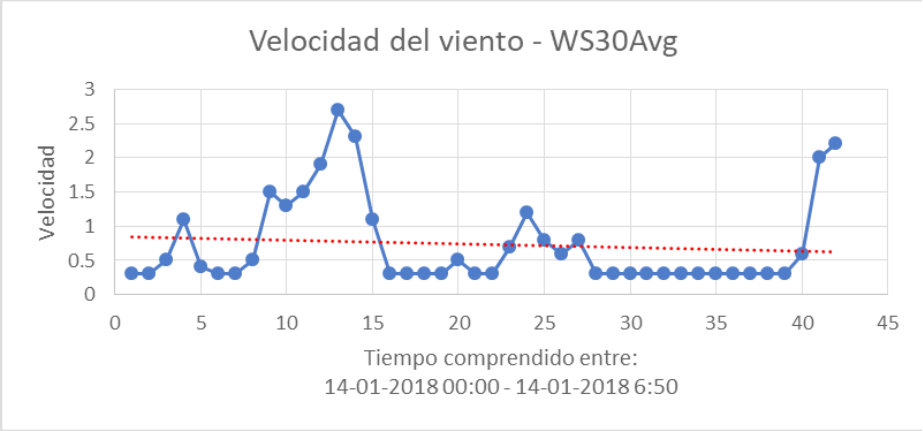


Figura 1 – Velocidad del viento a 30m de altura, muestra desde las (00:00h a 06:50h) del 14 de enero de 2018

Según lo analizado en esta sección, se concluye que el conjunto de datos a pronosticar presentan características de serie temporal porque las variables tienen una determinada secuencia, están ordenados cronológicamente y tienen intervalos iguales (10 minutos) (Alonso, 2016).

3.1. Selección del método para la predicción de datos

En la Tabla 2, se presentan las características de algunos de los algoritmos más utilizados para el análisis y predicción de series temporales. Como se puede observar el método ARIMA, se destaca porque implícitamente utiliza métodos de análisis de correlación, análisis de diferencias, autocorrelación simple y parcial.

METODOS	CARACTERISTICAS	
Método de análisis de tendencias	Cuando no exista un componente estacional en el patrón de serie de tiempo	X
Método de Descomposición	Cuando hay un componente de estacionalidad	X
Método de promedio móvil	Es adecuado cuando no hay un componente de tendencia ni estacionalidad.	X
Suavizamiento exponencial simple	Este modelo trabaja mejor sin uno de los componentes de tendencia o estacionalidad	X
Suavizamiento exponencial doble	Este modelo trabaja bien cuando está presente el componente de tendencia	X
Método de Winters	Se utiliza cuando en la serie de tiempo se exhiben patrones de tendencia y estacionalidad ya sea de forma aditiva o multiplicativa	X
Método ARIMA	Se utiliza implícitamente métodos de análisis de correlación, análisis de diferencias, autocorrelación simple y parcial, es más flexible que los métodos anteriores porque se puede iterar hasta encontrar la mejor solución que satisfaga el pronóstico. Funciona mejor en series largas y estables	*

Tabla 2 – Métodos para el análisis de series temporales

3.2. Elección de herramientas para el análisis

Actualmente, en el mercado existen muchas herramientas para realizar análisis estadístico, predicción de datos, generar de modelos de predicción, etc. Para realizar la elección de software, se tomó en cuenta aspectos tales como: curva de aprendizaje, flexibilidad, posibilidad de crear gráficos e integración web. Ante esto, se tomó como referencia una encuesta realizada por Rexer Analytics a científicos de datos, formulando una amplia gama de preguntas con respecto a la ciencia de datos, la Figura 2 muestra las herramientas que 1.220 encuestados informaron utilizar (Muenchen, n.d.). Finalmente, se puede notar que R tiene una ventaja muy significativa sobre los siguientes paquetes más populares, SPSS Statistics (Gothard, 2016), Tableau (Tablue, 2019) y SAS (SAS Institute, 2018). El software Excel Data Mining de Microsoft menos utilizado como herramienta principal (Microsoft, 2010).

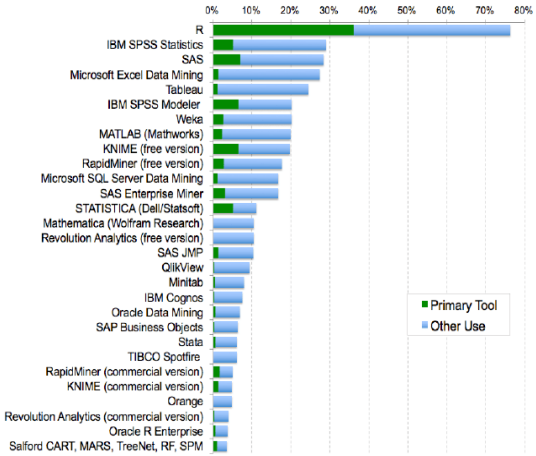


Figura 2 – Encuesta realizada por Rexer Analytics(Muenchen, n.d.)

Para la elección de la herramienta de interacción de datos a través de una interfaz web proactiva, se realizó una comparación entre herramientas de fácil integración con R, Tabla 3.

Características	Crosstalk	Shiny	gWidgetsWWW2
Visualizar grandes cantidades de datos.	No	Sí	Sí
Documentación en línea	Mínima	Extensa	Mínima
Visualización de gráficos básicos como histogramas, diagramas de dispersión, barras etc.	No	Sí	Sí
Interacción dinámica	Sí	Sí	Sí
Servidor integrado de aplicaciones web	Sí	Sí	Sí

Tabla 3 – Caracteristicas de Herramientas de integración con R

3.2.1. Preparación de datos con R

La limpieza o de depuración de datos es una de las actividades más importantes dentro del análisis de datos. En este proceso se prepara los datos unificando el formato, el tipo de variables etc. Esta etapa del análisis de datos es muy importante, ya que si los datos no están unificados y corregidos de manera adecuada los resultados podrían no ser los esperados incrementando el margen de error. El gráfico de líneas es el más adecuado, debido a que permite examinar visualmente valores atípicos, volátiles o irregularidades (RStudio, 2017). En la Figura 3, se presenta fluctuaciones de un minuto a otro en la cual se puede ver la variabilidad a lo largo del periodo de estudio.

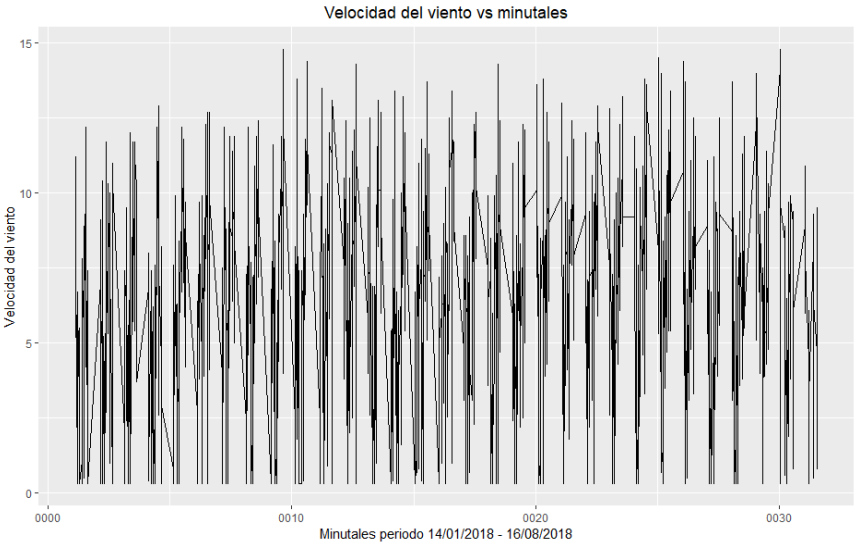


Figura 3 – Velocidad del viento vs muestreos minutales en el periodo de estudio

3.2.2. Descomposición de la serie de datos

Para el proceso de descomposición, calculamos el componente estacional de los datos usando stl(). STL es una función de R flexible para descomponer y pronosticar la serie (RStudio, 2017). Calcula el componente estacional de la serie utilizando el suavizado y ajusta la serie original restando la estacionalidad como se puede mirar en la siguiente instrucción de código:

```
> count_WS30Avg_ma <- ts (na.omit(dataCSV$WS30Avg_ma30), frequency
= 4032)
> decomp <- stl (count_WS30Avg_ma, s.window="periodic")
> deseasonal_WS30Avg <- seasadj(decomp)
> plot(decomp)
```

En la Figura 4 se puede observar una serie descompuesta por cuatro factores: Data, seasonal, tren, remainder.

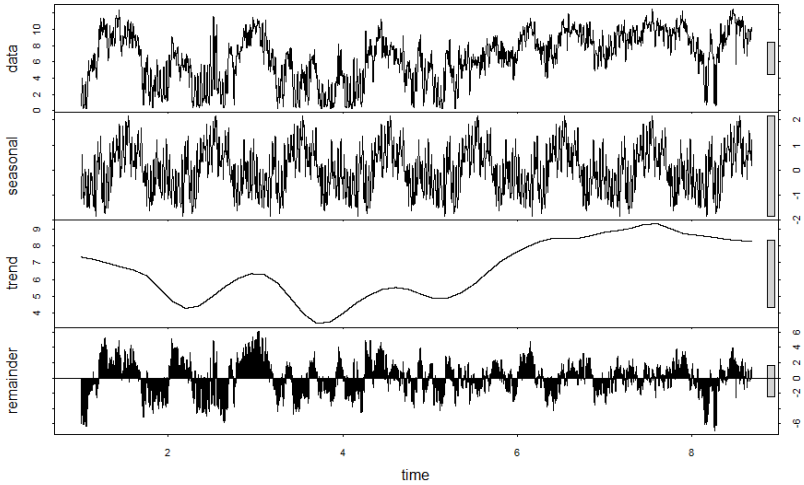


Figura 4 – Serie desestacionalizada por factores

El primer componente "data" muestra un diagrama de líneas de la serie de datos original. En el componente estacional (seasonal) se puede observar que durante el periodo observado la velocidad del viento sube y baja con respecto a los meses, pero de alguna manera se mantiene constante, no existe meses en donde alcance velocidades extremadamente altas ni bajas. El componente de tendencia (trend) indica que el patrón de la velocidad tiende a subir al final de las últimas mediciones, esto nos señala que en agosto la velocidad tiende a subir por el cambio de estación a verano con respecto a Ecuador. El componente remainder, se puede observar el ruido blanco al que está sujeto la serie de tiempo (Belmonte, 2018).

3.2.3. Ajuste del modelo ARIMA

La función auto.arima() busca a través de combinaciones de parámetros de orden (p, d, q) y selecciona el conjunto que optimiza los criterios de ajuste según el modelo. Para comparar la calidad de los modelos realizados, se utilizarán dos de los métodos más utilizados como los criterios de información de Akaike (AIC) y los criterios de información de Baysian (BIC). Estos criterios están estrechamente relacionados y pueden interpretarse como una estimación de la cantidad de información que se perdería si se elige un modelo determinado. Al comparar modelos, se necesita minimizar el AIC y el BIC.

Según el proceso de ajuste automático del modelo (p,d,q) en ARIMA como se muestra en la Figura 5, el comando auto.arima() sugiere un modelo de orden (3, 1, 2), con un coeficiente AR (1) p = 1.3939 nos dice que el siguiente valor de la serie se toma como un valor previo amortiguado por un factor de 1.39 y depende del retraso del error anterior, lo mismo sucede con MA (2) p = -0.5209 y el siguiente valor de la serie se toma como un valor previo amortiguado por un factor de -0.52.

```
Console ~/
> fit1 <- auto.arima(deseasonal_WS30Avg, seasonal=FALSE)
> fit1
Series: deseasonal_WS30Avg
ARIMA(3,1,2)

Coefficients:
         ar1      ar2     ar3      ma1      ma2
      1.3939  -0.5209  0.0790  -0.3278  -0.1423
s.e.  0.0320   0.0386  0.0233   0.0319   0.0271

sigma^2 estimated as 0.0008728:  log likelihood=65170.04
AIC=-130328.1   AICc=-130328.1   BIC=-130278
> tsdisplay(residuals(fit1), lag.max=15, main='Modelo estacional residual')
```

Figura 5 – Comando auto.arima()

En la Figura 6 se muestra un patrón claro presente en ACF / PACF y las parcelas residuales del modelo se evidencian un *lag* en el punto 11. Esto sugiere que nuestro modelo podría estar mejor con una especificación diferente, como p = 11 o q = 11.

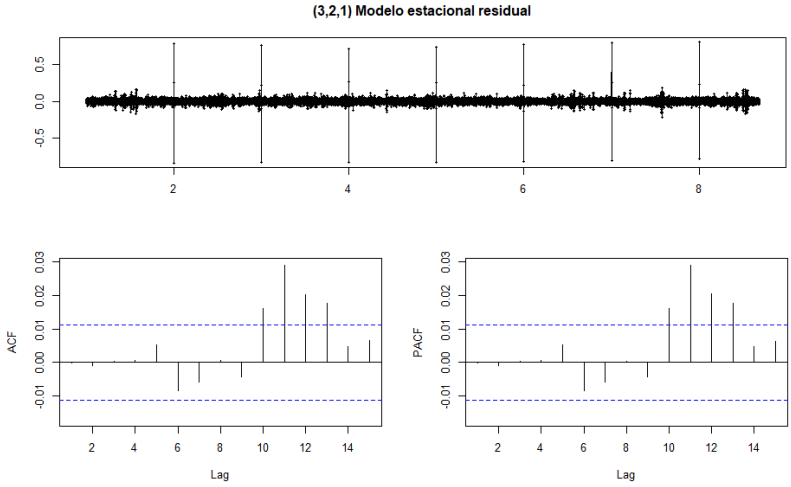


Figura 6 – Modelo (3,2,1) residual estacional

Una vez obtenido un modelo ARIMA ajustado a (3,2,1) procederemos a pronosticar con un horizonte de previsión h con plazos para los pronósticos que se realizarán, y usar el modelo ajustado para generar esas predicciones con la siguiente línea de código.

> ws30AVG_fcast <- forecast(fit1, h=4032)

Como resultado de la ejecución del comando se visualiza una gráfica con los datos de la serie y a continuación con datos pronosticados. En la Figura 7, se puede observar que al final del grafico de líneas la función ARIMA pinta áreas de dos colores, el área de color gris claro representa los valores no confiables del pronóstico, en cambio el área de color gris más intenso representa que los datos pronosticados en su interior son fiables en un

95%. Asimismo, la línea azul representa los datos pronosticados para las próximas 24 horas. Sin embargo, esta línea que representa el pronóstico parece poco confiable ya que se aproxima a una línea recta bastante pronto, lo que parece poco probable dado el comportamiento pasado de la serie. El uso de técnicas de minería de datos previo a la predicción de la velocidad de viento permite reducir los márgenes de errores al trabajar con datos de series temporales (Rivas & Bayona, 2019).

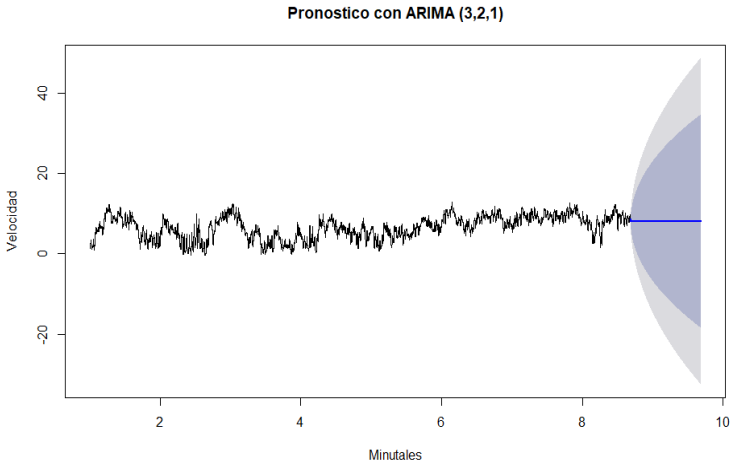


Figura 7 – Pronóstico con ARIMA

4. Resultados

El desarrollo de un aplicativo web con SHINY que es una herramienta que permite crear aplicaciones web reactivas usando lenguaje R con modelos predictivos. En la Figura 8 se observa la interfaz principal de la aplicación desarrollada para la lectura del dataset de la torre eólica con la finalidad de pronosticar la velocidad de viento.

La interfaz cuenta con un panel izquierdo el cual contiene una serie de opciones. El botón cargar archivos o datasets permite subir archivos de tipo CSV que contengan datos para realizar el pronóstico de la velocidad del viento. Una vez, que se haya seleccionado el dataset se despliegan las opciones en los demás componentes del panel izquierdo. La opción de seleccionar variable permite seleccionar de entre un conjunto de variables del dataset una variable base para el pronóstico. Continuando, con la siguiente opción se encuentra la frecuencia este componente tiene las opciones de: 10 minutales, diaria, mensual y anual.

Por otra parte, la interfaz incluye un visualizador de gráficos tipo dashboard en el cual se muestran las gráficas principales sobre las estadísticas y el pronóstico de los datos. En el “Plot” del dashboard principal si visualiza la información estadística de la serie de datos seleccionado en el panel izquierdo permitiendo así realizar una prueba de inspección visual.

En la opción “pronostico”, se observa el pronóstico en base a los parámetros seleccionados del panel izquierdo, como se puede observar en la Figura 8.

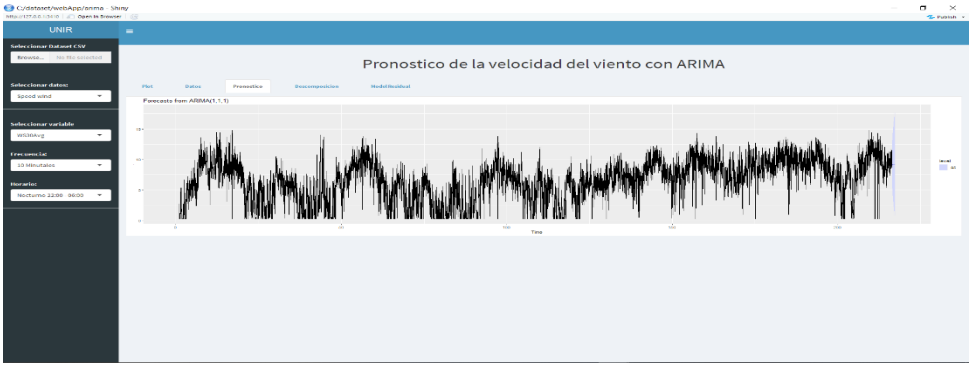


Figura 8 – Gráfica del pronóstico

En la Figura 9 se puede observar la opción “Descomposición”, que muestra las gráficas de componente estacional, tendencias, ciclos y errores residuales como ya se detalló en los puntos anteriores.

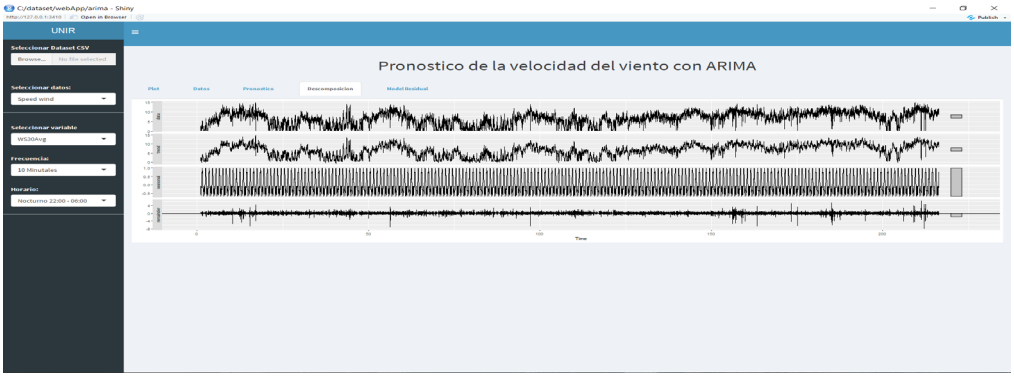


Figura 9 – Descomposición de la variable de estudio

5. Conclusiones

En este trabajo se utilizó el método ARIMA para el pronóstico del viento a corto plazo, ya que la principal característica de éste es trabajar con datos de series de tiempo que puedan o no presentar estacionalidad o tendencia. La herramienta forecast() contiene una gran amplitud de funciones que coadyuvan al pronóstico de series temporales, una de ella es auto.arima() que fue de gran utilidad a la hora de estimar los modelos *(p, d, q)* de ARIMA. Las gráficas ACF y PACF son de gran utilidad para resolver visualmente

dichos parámetros del modelo, pero con la herramienta web se trata de automatizar este proceso.Los resultados obtenidos con los criterios de información de Akaike (AIC) tanto de la forma automática auto.arima() como en el análisis visual (ACF y PACF) no fueron significantes; los resultados obtenidos fueron un AIC= -130328.1 y AIC= - 130360.1 respectivamente. Así que, se puede concluir que el método auto.arima() establece de una manera muy confiable los parámetros de ARIMA de orden *(p, d, q)*. Por otra parte, la curva de aprendizaje para el desarrollo del aplicativo web con Shiny en R fue moderada gracias a su extensa documentación en línea. Esto permitió desarrollar una aplicación web interactiva muy intuitiva para que cualquier usuario pueda utilizarla y entender los resultados de los pronósticos.

Agradecimientos

Los autores agradecen la Dirección de Investigación y Desarrollo, DIDE, de la Universidad Técnica de Ambato por la ayuda especial a la propuesta, gracias al financiación del proyecto de investigación "Implementación de una Plataforma Cloud de Evaluación de Recurso Eólico en Terreno Complejo y Predicción de Energía, basado en un Enfoque Híbrido", PFISEI028.

Referencias

Alonso, A. M. (2016). *Introducción al Análisis de Series Temporales Cálculo de Tendencias y Estacionalidad*.

Tablue. (2019). *Análisis e inteligencia de negocios* [Internet]. Retrieved from https://www.tableau.com/es-es/products/prep

Ata, R. (2015). Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.166

Belmonte, C. (2018). *Ruido Blanco* [Internet]. Retrieved from https://rpubs.com/Meca/376836

Carolin Mabel, M., & Fernandez, E. (2008). *Analysis of wind power generation and prediction using ANN: a case study*. *Renewable Energy*. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.06.013

Cheng, L., Zang, H., Ding, T., Sun, R., Wang, M., Wei, Z., & Sun, G. (2018). Ensemble recurrent neural network based probabilistic wind speed forecasting approach. *Energies*. https://doi.org/10.3390/en11081958

Gothard, J. (2016). *Saint Paul Public Schools* [Internet]. Retrieved from https://www.spps.org/domain/1235

Honorable Consejo Universitario. (2018). *0316-CU-P-2018* [Internet]. Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from http://redi.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/53527

Khan R. (2017). *ARIMA model for forecasting* [Internet]. Retrieved from https://rpubs.com/riazakhan94/arima_with_example

Lee, D., & Baldick, R. (2014). Short-term wind power ensemble prediction based on gaussian processes and Neural networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*. https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2280649

Liu, H., Chen, C., Lv, X., Wu, X., & Liu, M. (2019). Deterministic wind energy forecasting: A review of intelligent predictors and auxiliary methods. *Energy Conversion and Management*, 328–345. doi:10.1016/j.enconman.2019.05.020

Lópes P., Velo R., M. F. (2007). Estimación De La Velocidad Del Viento Mediante Redes Neuronales. In *XI Congreso internacional de ingeniería de proyectos LUGO*.

Microsoft. (2010). *Data Mining Add-ins* [Internet]. Retrieved from https://support.office.com/en-us/article/data-mining-add-ins-cbbce629-df1a-4b15-b40e-c494fec4f022

Muenchen, R. A. (n.d.). *The Popularity of Data Science Software*.

Muñoz, M., & Mejia, J. (2019). Tendencias en tecnologías de información y comunicación. *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (32). https://do.org/10.4304/risti.31.0

Quezada-Sarmiento, P. A., & Mengual Andrés, S. (2017). Implementación de una solución web y móvil para la gestión vehicular basada en Arquitectura de Aspectos y metodologías ágiles. *RISTI- Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (25), 98-111.

Pino Diez, R., Parreño Fernández, J., Paolo Priore, A. G. G. (2004). Pronóstico de la Velocidad y Dirección del Viento mediante Redes Neuronales Artificiales. In *VIII Congreso de Ingeniería de Organización*, 905–914.

Rivas, M. H., & Bayona-Oré, S. (2019). Algoritmos de Minería de Proceso para el Descubrimiento Automático de Procesos. *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (31), 33-49. https://doi.org/10.17013/Risti.31.33–49

Salcedo-Sanz, S., Pérez-Bellido, Á. M., Ortiz-García, E. G., Portilla-Figueras, A., Prieto, L., & Correoso, F. (2009). Accurate short-term wind speed prediction by exploiting diversity in input data using banks of artificial neural networks. *Neurocomputing*. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2008.09.010

SAS Institute. (2018). *Software y Soluciones de Analítica* [Internet]. Retrieved from https://www.sas.com/es_mx/company-information.html

Secretaría Nacional de Planificación ARIMA model y Desarrollo. (2015). *Ecuador avanza en la diversificación de su matriz productiva*.

Shi, Z., Liang, H., & Dinavahi, V. (2018). Direct Interval Forecast of Uncertain Wind Power Based on Recurrent Neural Networks. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. https://doi.org/10.1109/TSTE.2017.2774195

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 25/06/2019
Aceitação/Acceptance: 29/09/2019

Influence on the Electromagnetic Compatibility of the Configuration of the Neutral in Grounding Systems for Hospitals

Esteban P. Dominguez-Gonzalez-Seco[1], José-Manuel Gómez-Pulido[2], Alberto Garces-Jimenez[2], David Gomez-Gomez[1]

estebanpatricio.dominguez@upm.es; jose.gomez@uah.es; albertogarces0@gmail.com; david.gomez@upm.es

[1] Department of Construction and Architectural Technologies, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain;

[2] Department of Computer Sciences, Polytechnic School, University of Alcala, 28871, Alcala de Henares, Spain;

Pages: 417–429

Abstract: This research analyzes the impact in the electromagnetic compatibility that the configurations of the neutral of grounding systems have in hospitals. The results herein propose a consistent standard model as the basis for future regulations to provide consistent guidelines for designing the power and telecommunications networks in hospitals, reducing the undesirable low frequency radiation exposure and improving their operations and maintenance. An experiment was carried out in two hospitals with different neutral configurations, so that the comparison could be validated. The outcomes of the simulation are presented and discussed, checking their compliance with International Electromagnetic Compatibility Normative. The TN-S neutral configuration is compared with the current standard design recommendations, showing a better performance in terms of network stability and electromagnetic compatibility. This study tries to justify the implementation of a design practice for the grounding system of hospitals which improves the management of the installation, its safety and durability.

Keywords: Grounding System; Neutral Conductor; Electromagnetic Compatibility; Electromagnetic Interference; Hospital.

1. Introduction

The Electromagnetic Compatibility (EMC) is defined as "the branch of electrical engineering concerned with the unintentional generation, propagation and reception of electromagnetic energy which may cause unwanted effects such as electromagnetic interference (EMI) or even physical damage in operational equipment." These unwanted effects require special attention when designing the electrical network and are especially significant in a hospital (White, Denny, 1983). This is because a hospital requires safer conditions for users and hosts medical electrical appliances that cause sensitive emissions. The other concern with undesired radiations is how sensitive electrical

devices, instruments or the telecommunications network are when being exposed to near electromagnetic interferences and adversely affected (Headquarters Department of Army, 2002).

Taking the EMC/EMI concerns in the design would improve the daily operations (San Martín, 2001), providing better performance of the equipment connected to the electrical network, expanding the service life-cycle, and reducing the exposure of hospital users to undesired radiations (IARC Working Group). This research shows how the implementation of the neutral in grounding systems impact on the calculated EMC level (Grcev, 2001; Lacroix & Calvas, 2000; Calvas, 1998) with an experiment that simulates the behavior of two electrical installations in existing hospitals. At present, there is no normative framework considering the effect of the neutral in the design of electrical facilities (Muro, 2011) and the scientific literature addressing the issue is scarce (IEEE).

1.1. Grounding System: Concept

The grounding system of an electrical network is the direct connection of a metallic enclosure to the electrical earth (Zhiqin & Shenjun, 2010). Effective grounding firstly prevents the formation of eventual hazardous voltage differences in the building, its facilities and the surroundings (Switzer, 1999)., evacuating leakage currents (Hofneinz, 2005) or atmospheric electrical discharges straight to earth.

1.2. Grounding System: Nomenclature

Regulations offers several grounding strategies based on users' protection experience. Each strategy -configuration or scheme- is identified with two or eventually three capital letters (Lacroix & Calvas, 2000; IEEE, 1991). The first letter indicates how the power supply connects to the earth. "T" means that the connection to the earth is direct; "I" means that all the active parts are isolated from the earth or connected through a high impedance to it. The second letter indicates how the metallic enclosures of the electrical equipment connect to earth. "T" means that the connection of equipment cases to earth is direct, regardless of the earth provided by the power supply; "N" means that the equipment metallic case is directly connected to the neutral. The third letter (occasional) indicates how the neutral connects to the protective earth. "S" means that the neutral (N) is isolated from the protective earth (PE). "C" means that both PE and N are combined in one common conductor: PEN conductor.

1.3. Grounding System: Configurations

The power supply in TT grounding has one single point connected to the earth (T) and the enclosures connected directly to the earth (T) in different points provided by the power supply. The power supply in TN grounding has one single point, generally the neutral, connected to the earth (T) and the enclosures connected to the same point via protective conductors (N). Figure 1 shows the diagram of both schemes. TN delivers two options, TN-C and TN-S, with different influence in the magnetic fields (Schmautzer et al. 2001).

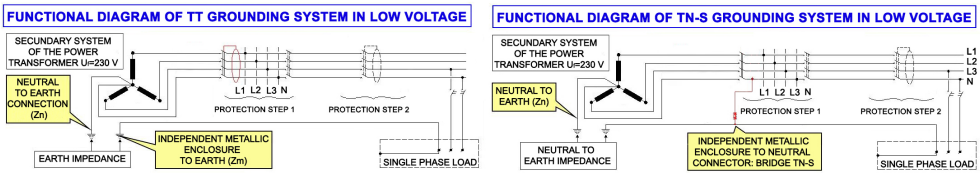


Figure 1 – TT grounding system and TN-S grounding system. Blocks diagram.

2. Materials and Methods

This research proposed an experiment to demonstrate the optimal performance of one of the grounding configurations for the electrical installations in hospitals. It is necessary to replicate the same nonlinear behavior of the loads in identical test scenarios for each scheme for comparing their electrical performance and the consequent radiation.

The experiment makes use of real data from existing hospital installation as the first option, but requires the use of simulation tools, because direct testing of an alternate real installation facility would be otherwise unfeasible. The simulation starts mimicking the electrical network and tuning it with real measures taken from existing hospitals, getting the electrical behavior of the low voltage network with the well-known software tool, ETAP. The grounding systems are also modeled with real measures taken from two Spanish hospitals: University Hospital of Burgos (UHB) with a running TN-S grounding system and the University Hospital of Ceuta (UHC) with a TT grounding system. Once the model for each hospital has been tuned the electrical simulation runs providing the electrical parameters that become the inputs for the next simulation phase that is the EMC done with CST Studio. CST provides the radiation effect by solving Maxwell equations with Finite Elements Method. Figure 2 shows the steps of the experiment. Brenna recently showed the improvements in the accuracy of this method (Brenna et al. 2018).

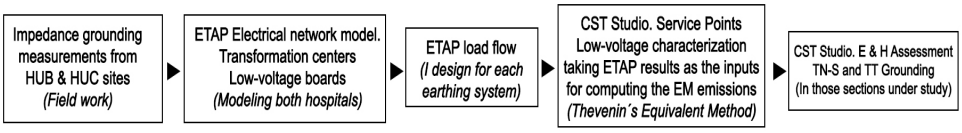


Figure 2 – Steps for the evaluation of TN-S and TT grounding system EMC in hospitals.

2.1. Parameter Selection for the Simulation

The applicable normative and scientific literature refers to the Exposure Limit Values (ELV) that guarantee the appropriate operation, and we particularize for the hospital equipment under a standard power supply specification. The Part 2 of the Spanish Standard UNE-EN 60601-1-2:2008 deals with the general requirements for basic safety

and essential performance: Electromagnetic compatibility - Requirements and tests, as listed in Table 1.

This will assure that the equipment is intended to work according to the specified conditions. These tests assess the response of electrical equipment to simulated events, indicating the maximum field levels at each location.

Immunity Test	IEC 60601 test level	Electromagnetic environment-guidance
Electromagnetic environment-guidance	Electromagnetic environment-guidance	Floors should be wood, concrete or ceramic tile. If floors are covered with synthetic material, the relative humidity should be at least 30 %.
Electrical fast transient/burst IEC 61000-4-4	± 2 kV for power supply lines ± 1 kV for input/output lines	Mains power quality should be that of a typical commercial or hospital environment.
Surge IEC 61000-4-5	± 1 kV line(s) to line(s) ± 2 kV line(s) to earth	Mains power quality should be that of a typical commercial or hospital environment.
Voltage dips, short interruptions and voltage variations on power supply input lines IEC 61000-4-11	<5 % UT[1] (>95 % dip in UT) for 0,5 cycle 40 % UT (60 % dip in UT) for 5 cycles 70 % UT (30 % dip in UT) for 25 cycles <5 % UT (>95 % dip in UT) for 5 s	Mains power quality should be that of a typical commercial or hospital environment. If the user of the [ME EQUIPMENT or ME SYSTEM] requires continued operation during power mains interruptions, it is recommended that the [ME EQUIPMENT or ME SYSTEM] be powered from an uninterruptible power supply or a battery
Power frequency (50/60 Hz) magnetic field IEC 61000-4-8	3 A/m	Power frequency magnetic fields should be at levels characteristic of a typical location in a typical commercial or hospital environment

[1] UT is the AC mains voltage prior to application of the test level.

Table 1 – Guidance and manufacturer's declaration electromagnetic immunity UNE-EN-60601-1-2-2008.

The user exposure to electromagnetic fields, also itemized in Table 1, measures the magnitude of the Electric Field, E, in Volts/meter (V/m), and the Magnetic Field, H, in Amps/meter (A/m) indicating the adequate values for people exposure to a radiation source. Therefore, the less the level of E in V/m and H in A/m, the more appropriate for the people. Measures are taken at 50Hz for three-phase power, which is the common supply in Spain.

The catheters, probes and other electrical extensions of the medical electrical equipment are not considered in the simulation because they are normally separated by equipment embedded transformers that provide galvanic isolation between the powered equipment and the electrical installation of the building. This has been the normal protecting practice by equipment manufacturers as hospital electrical installations are not expected to be stable enough.

2.2. Grounding Systems EMC Analysis in Hospitals

As said the experiment simulates the behavior of the electrical installation configured with ETAP and CST Studio software tools. The validation of the experiment is given by the following assumptions: The obtained field levels do not need to be highly accurate, given that identical conditions are modeled for both neutral configurations in each hospital and the results are only used for comparing each other. The technical specifications of the medical electrical equipment connected to the network and its exact location are considered in the simulation. The assumptions are supported by previous studies in high-impact editors, such as IEEE, that confirm that the selected tools provide trustable outputs when the model parameters are taken from real installations (Liu, 2004; Ma & Dawalibi, 1998; Ma & Dawalibi, 2009; Ma et al, 2008). The selected software tools are commonly used in demanding research on power substations, middle-high voltage systems (Vias & Jamnani, 2011; Aliman & Musirin, 2013), electrical machines behavior (Haijun et al. 2014), low voltage facilities and grounding systems (e.g. TN-S grounding network) (Mitolo et al. 2013).

The experiment starts with ETAP tool performing the electrical simulations that will generate the parameters that will provide the input for CST Studio, to compute the electromagnetic field values (EMF). The network design is uploaded in the ETAP tool and then every element and its electrical specifications are configured with real data from the two hospitals. Once ETAP runs the simulation, it outputs the functional electrical parameters for being used as inputs of CST Studio. The 2-step simulation is then repeated changing the grounding systems in both hospitals for comparing the influence of the two grounding options under identical contexts.

3. Results

3.1. Model Skeleton – Electrical Simulation

The existing infrastructures of the two hospitals are the skeleton for the simulation. The actual values of the earth ground resistance are fundamental for getting realistic results (Liu et al. 2014). In UHB case, the company carrying out the Quality Control of the Project Management took that measure. In UHC, the hired maintenance personnel measured it during a routine 5-year installation review. These two activities have made that the simulation runs with exact real values.

3.2. Hospital Electrical Modeling

ETAP starts the process simulating the electrical behavior of each hospital with a nominal load. The simulator runs Load Flow Analysis to calculate the electrical parameters getting the Thévenin's electrical equivalent circuit of each section of the installation. The ETAP Graphical Interface then depicts the layout of the power lines from the power transformation centers (TC1) to the secondary distribution boards. Figure 3 shows an screenshot of the TC1 section for each hospital.

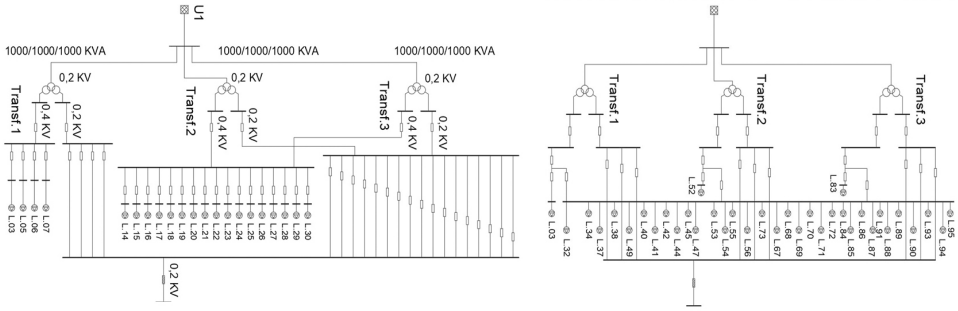


Figure 3 – Block diagram of TC1 section in UHC (left) and UHB (right).

The element on the top of the diagrams represents the Power Grid connecting to the middle voltage supply system of the hospitals. The level underneath shows the transformers. The Load Flow Analysis is executed taking the apparent power and voltage of the transformers, the line and equipment/load impedances (Kirar et al. 2012), the electrical loads characterized with active power and power factor, and the TT and TN-S grounding systems with measured or calculated earth ground resistances.

For the electromagnetic simulation the only required values are the currents flowing through the lines and the neutral and the voltage accessing to each section getting the Thévenin's equivalent circuit. Figure 4 prompts the current passing through the main power line loads and the secondary boards in UHC, with detail of the current flowing through the neutral cables of TC1.

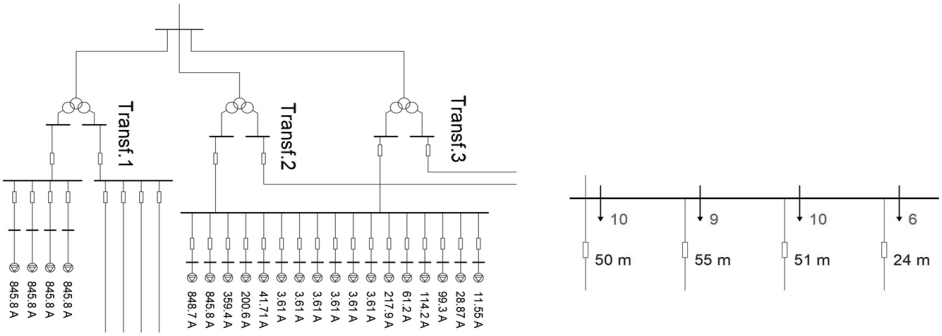


Figure 4 – Currents flowing in UHC installation and its neutral TC1 section.

These results show one of the differences between the TT and TN-S grounding systems, as TT is less balanced than TN-S with identical loads. Figure 5 shows the same analysis for UHB of the currents flowing through the neutral in TC1.

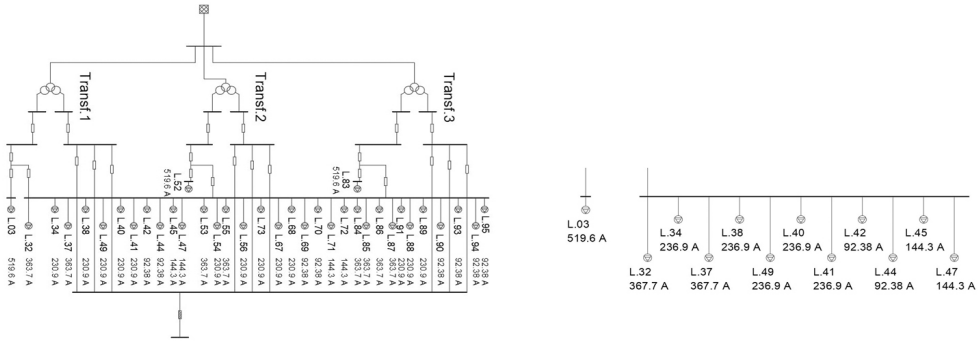


Figure 5 – Currents flowing in UHB installation and its neutral TC1 section

3.3. Hospital Electromagnetic Modeling

The electrical part of the experiment splits the simulation in two for each hospital. The first one considers the electrical installation from the transformers (TC1) to the secondary boards. This simulation performs the load distribution for each case showing the differences between the two grounding systems. Logically, this will vary with different services and infrastructures, delivering other possible output parameters. Another simulation calculates the effect of the different types of electrical arrangements in the capillary sections, especially those hosting telecommunications wires near the power elements, as this service is sensitive to EMI (Kugelstadt, 2007). The second simulation considers the electrical wiring that reaches the medical electrical equipment.

The technical specifications of the electrical elements installed are taken from manufacturers' manuals. For example, the three 1000KVA, 15-20/0,4KV transformers in the TC1 of UHC are Trial Model of Schneider. Medium and low voltage wiring specifications come from manuals, too. For example, middle voltage 1x150mm2, 12/20KV AL DHZ1 wiring are VULPREN model. The neutral, the protection wire or the trays for bearing the cables are also carefully incorporated in the simulation, as they equally influence in EMI.

This research shows the results in the capillary sections, considering where the medical electrical equipment is exactly placed in the hospital. Power wires in the terminating section are normally deployed close to the telecommunications cables. This practice leads to consider this particular case of EFI, according to several regulations that set the limits for the maximum level of EMF and issuing recommendations for installers, such as for example the minimum allowed duct separation. Telecommunication wiring and ducting are also incorporated into the model to assess the effect on the service. The data transmission cable is twisted pair 5 or 6A Category. Figure 6 depicts the cable layout for the simulation. In the simulation we put the power and telecommunication cables close varying the separation distance between them. The electrical cables are on the top and the telecommunications cables are located underneath, with an air gap between them, as the air is a good dielectric.

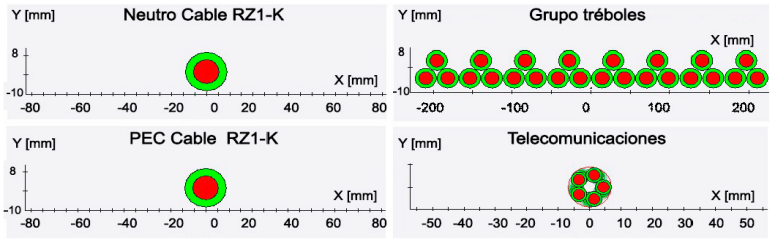


Figure 6 – Layouts of power and telecommunication cables.

The power and telecommunications cables reach the metallic enclosure of the medical electrical equipment from the distribution boards. The analyzed section is from the enclosure of the distribution board to the enclosure of the equipment. The maximum distance of EMC influence according to the regulation is 20cm (7.9inch). Figure 7 depicts the model of the TT neutral connection in UHC.

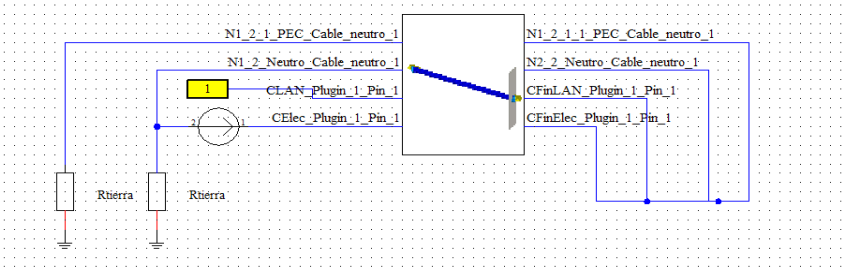


Figure 7 – Diagram with the connections to the medical electrical equipment with the secondary board in UHC. TT configuration.

Finally, we get the EMF values. Figure 8 shows the comparison of E in V/m and H in A/m between both grounding configurations. It is observable that the system with TN-S performs better than the system with TT within all the considered range. The electrical simulation provides the parameters for the analysis of the electromagnetic goodness of the systems.

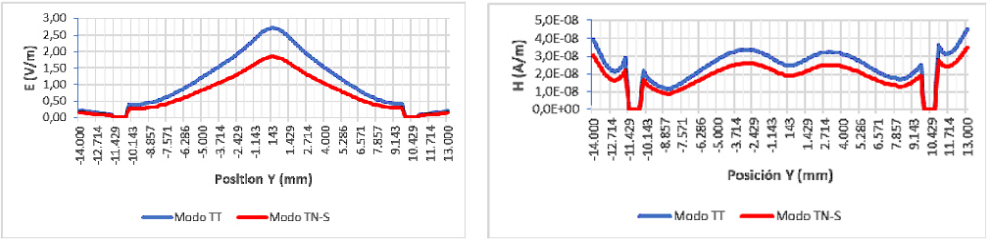


Figure 8 – E (V/m) and H (A/m) measured in the telecommunication cable.

4. Discussion

The proposed experiment allowed to identify the grounding system that causes less electromagnetic interferences to medical electrical equipment in hospitals. The obtained results demonstrate that the TN-S grounding configuration has less electromagnetic impact than the TT one. This result raises a significant implication that should become a guideline for the design of the electrical installations for hospitals and provides the justification for including EMC when designing grounding systems in the normative, as this is today left to the designer's criteria, causing the delivery of nonoptimal solutions.

In current electrical installations with nonlinear loads, like variable-frequency drives, starters, electronic ballasts, the authors have presented a significant operational advantage for designing the neutral with TN-S, rather than TT as it also portrays better electrical stability.

4.1. Discussion on Electric Fields

Even when E magnitudes of both grounding systems are comparable, however TN-S system shows less intensity around the working area than the TT system, reaching up to 100% in some distances. These better performance remains unalterable in every section from the low-voltage panel board to the secondary distribution boards, and from these to the terminating equipment connection. In any case, the values obtained with any of the two systems are significantly lower than the maximum values of exposure to the electric radiation, as it will be explained later. The simulation shows higher differences in the core section. These sections are normally deployed in special premises, such as galleries or spaces solely dedicated to the infrastructures, that are usually not accessible for not authorized hospital users. However, these areas also allocate telecommunication cables, leading to optimize the design, otherwise the service might experience irregular operation or could deteriorate faster.

Parts 1-2 of the Spanish Standard UNE-EN 60601-1-2:2008, about the general requirements for basic safety and essential performance including electromagnetic compatibility requirements and EMI tests for medical electrical equipment, only consider the variations of root mean square voltage (Vrms), making necessary to consider the international normative about user exposure to E (V/m). The Report of the World Health Organization (WHO) about the exposure to EMF give the recommendations as Exposure Limit Values, (ELV) at 50Hz EMF on average generated by power lines, as shown in Table 2. The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), the NGO recognized by the WHO as the top reference for the evaluation of the scientific research production worldwide, issued a series of guidelines (ICNIRP, 1998) about the exposure limits to fields deducible from high-impact publications. Table 3 summarizes the latest information by ICNIRP on the maximum ELV levels [4, 30].

Under the power line		**At 50 meters distance**	
Electric Field Intensity (V/m)	Magnetic flux (μT)	Electric Field Intensity (V/m)	Magnetic flux (μT)
10	20-22	100	0.01 – 0.02

Table 2 – Average ELV to EMF generated by power distribution lines @50hz. Source: WHO.

Units	Electric Field (V/m)	Magnetic Field (µT)	Power Density (W/m2)	Power Density (W/m2)	Power Density (W/m2)
Frequency	50Hz	50Hz	900MHz	1.8GHz	2.45GHz
ELVs for people	5	100	4.5	9	10
ELVs for occupation	10	500	22.5	45	

Table 3 – Average ELV in near power distribution lines @50hz. Source: ICNIRP, EMC guidelines, Health Physics 74, 494-522 (1988).

Our simulations demonstrate that both analyzed grounding systems have EFV levels much lower than the recommended limits -even taking the case of being under the power lines, which is more restrictive-. In any case, the TN-S system emits less radiation than the TT providing better performance. Specifically, the simulation yields 1,700V/m with TN-S system and 1,400V/m with TT on the top of the power wires, which is the worst case for users and equipment.

4.2. Discussion on Magnetic Fields

Conclusions on Magnetic Fields are similar to Electric Fields, although their influence is higher (Netzer, 2013). Part 1-2 of the Spanish Standard UNE-EN 60601-1-2:2008, about the general requirements for basic safety and essential performance including Electromagnetic compatibility requirements and EMI tests for medical electrical equipment, indicates that H unit is in A/m. Table 4 summarizes these values.

Immunity Trial	Trial Level according to Standard IEC 60601	Compliance Level
Magnetic Field at 50/60Hz Grid Frequency, according to IEC 61000-4-8	3A/m	0.3A/m

Table 4 – EMI Compliance tests summary. Source: UNE-EN 60601-1-2:2008.

The simulated results are significantly lower than the ELV. TN-S system once again performs better as emits lower field levels than TT scheme. The difference is one order of magnitude above in some points, but, in any case, it is lower than the normative in the whole range. Table 5 shows a summary of ELV by the ICNIRP (San Martin, 2001; Sierra, 2000).

Frequency (f) Range (KHz)	Magnetic Field Intensity (A/m)	Magnetic Flux Density (µT)
0.025 – 0.82	20/f	25/f

Table 5 – Magnetic fields ELVs near power distribution lines. Source: ICNIRP, EMC Guidelines, Health Physics 74, 494-522 (1998).

Applying the formula in our study yields a maximum threshold of 0.4A/m at 50Hz, validating our conclusions. The results also comply the Spanish Standard UNE 50310:2007 for the application of equipotential bonding and earthing in buildings with information technology equipment.

5. Conclusions

In conclusion, this study demonstrates that the TN-S scheme of the neutral in the grounding system is more appropriate than the TT in hospital electrical installations as the TN-S because, not only improves the ulterior operation of the facilities deployed in the building, but also reduces the EMI over the connected medical electrical equipment and user exposure to undesirable radiations.

The results of this research could be used as the basis for justifying the inclusion of EMC considerations in the design of electrical installations in the normative, being especially convenient for hospitals.

Author Contributions: Conceptualization, Esteban Dominguez; methodology, Esteban Dominguez; software, Esteban Dominguez and David Gomez.; validation, Esteban Dominguez and David Gomez; formal analysis, Esteban Dominguez and David Gomez; investigation, Esteban Dominguez; resources, Jose-Manuel Gomez-Pulido; data curation, David Gomez and Alberto Garces; writing—original draft preparation, Alberto Garces; writing—review and editing, Alberto Garces and Jose-Manuel Gomez-Pulido; visualization, Alberto Garces and David Gomez; supervision, Jose-Manuel Gomez-Pulido; project administration, Jose-Manuel Gomez-Pulido; funding acquisition, Esteban Dominguez and Jose-Manuel Gomez-Pulido.

Acknowledgments: This research is supported by the unpublished dissertation of the first author (Esteban Domínguez) in 2016.

References

Aliman, O., & Musirin, I. (2013). Overcurrent relays coordination for commercial building. In *2013 IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference,* (pp. 608-612). doi:10.1109/PEOCO.2013.6564620

Brenna, M., Foiadelli, F., Longo, M., & Zaninelli, D. (2018). Particular grounding systems analysis using FEM models. In *2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, (pp. 1-6). doi:10.1109/ICHQP.2018.8378860

Calvas, R. (1998). Perturbaciones en los sistemas electrónicos y esquemas de conexión a tierra. *Cuaderno Técnico nº 177*. Schneider Electric.

Domínguez González-Seco, E.P. (2014). *Análisis de la influencia del régimen de neutro en la compatibilidad electromagnética en edificios hospitalarios y propuesta de una nueva técnica correctora*. (Tesis Doctoral). E.T.S. Arquitectura (UPM).

Grcev, L. (2001). Modelling of grounding systems for better protection of communication installations against effects from electric power system and lightning. In *Twenty-Third International Telecommunications Energy Conference,* (pp. 461-468).

Haijun Liu, Mitolo, M., & Jun Qiu. (2014). Ground-fault loop impedance calculations in low-voltage single-phase systems. *IEEE Transactions on Industry Applications, 50*(2), 1331-1337. doi:10.1109/TIA.2013.2272285

Headquarters, Department of the Army. (2002). *Grounding and bonding in command, control, communications, computer, intelligence, surveillance, and reconnaissance (C4ISR) facilities* (2002). Washington, D.C: Headquarters, Dept. of the Army.

Hofheinz, W. (2004). *Vigilancia de la corriente de defecto en instalaciones eléctricas [Fault current monitoring in electrical installations]*. Berlin; Offenbach: VDE-Verl. ISBN 978-3-8007-2834-3.

IARC Official Publication. (2002). *Non-ionizing radiation, part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields*. Albany: World Health Organization; International Agency for Research on Cancer.

ICNIRP. (1998). Guidelines. *Health Physics 74,* 494-522.

IEEE. *(1991). IEEE Standard for requirements, terminology, and test procedure for neutral grounding devices*ANSI/IEEE Std 32-1972. American National Standards Institute (Approved March 29, 1985 -Reaffirmed February 27, 1991)

IEEE. (2006). *Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment*.

Kirar, M. K., & Aginhotri, G. (2012). Cable sizing and effects of cable length on dynamic performance of induction motor. In *Power India Conference, IEEE Fifth. IEEE,* (pp. 1-6). doi:10.1109/PowerI.2012.6479482

Kugelstadt, T. (2007). Removing Ground Noise in Data Transmission Systems. *Application Report SLLA268*. Texas Instruments.

Lacroix, B., Calvas R. (2000). Los esquemas de las conexiones a tierra en el mundo y su evolución. *Cuaderno Técnico nº 173*. Schneider Electric.

Lacroix, B., Calvas R. (2000). Los esquemas de conexión a tierra en BT (regímenes de neutro). *Cuaderno Técnico nº 172*. Schneider Electric.

Liu, Y. (2004). *Transient response of grounding systems caused by lightning: Modelling and experiments* (Tesis Doctoral), ISBN: 91-554-6041-0.

Liu, H., Mitolo, M., & Qiu, J. (2014). Ground-fault loop impedance calculations in low-voltage single-phase systems. *IEEE Transactions on Industry Applications,* 50(2), 1331-1337. doi:10.1109/TIA.2013.2272285

Ma, J., & Dawalibi, F. P. (1998). Modern computational methods for the design and analysis of power system grounding. In *Proceedings of the 1998 International Conference on Power System Technology*, Beijing, (pp. 18-21). doi:10.1109/ICPST.1998.728937

Ma J., Liu J. & Dawalibi, F. P. (2008). Application of Advanced Simulation Methods and Design Techniques to Interconnected Grounding Systems. In *17th Conference of the Electric Power Supply Industry*, Macau.

Ma, Jinxi; Dawalibi, & Farid Paul. (2009). Computerized analysis of grounding plates in multilayer soils. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(2), 650-655. DOI: 10.1109/TPWRD.2008.2005887

Mitolo, M., Freschi, F., Liu, H., & Tartaglia, M. (2013). Latent potential differences between exposed-conductive-parts under ground-fault conditions in low-voltage systems. In *2013 IEEE IAS Electrical Safety Workshop*, (pp. 137-143). doi:10.1109/ESW.2013.6509014. ISBN: 9781467330398.

Muro Saenz-Diez, J. C. (2011). Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para apoyos de líneas aéreas de alta tensión. *Servicio de Publicaciones Universidad de La Rioja*.

Netzer M. (2013). Excessive magnetic field flux density distribution from overhead isolated powerline conductors due to neutral line current. *Electromagnetic biology and medicine,* 32(2), 267-271. DOI: 10.3109/15368378.2013.776873

San Martin Ferrer, D. (2001). NTP-698: Campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 GHz: criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*.

Schmautzer E, Fickert L, Frei J, Friedl W, Gaun A, Rechberger G. (2006). The influence of protective neutral earthing (TN-C and TN-S systems) on low-frequency magnetic fields in buildings. *Elektrotechnik und Informationstechnik,* 123(1), 50-57. DOI: 10.1007/s00502-006-0313

Sierra Turmo, E. (2000). NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas. *Notas Técnicas de Prevención*. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.

Switzer, W. K. (1999). *Practical Guide to Electrical Grounding*. USA. ERICO Inc.

Vyas, K.A., Jamnani, J. G. (2011). Optimal design and development of software for design of substation grounding system. In *2011 Nirma University International Conference on Engineering*. IEEE, p. 1-7. DOI: 10.1109/NUiConE.2011.6153288

White, D. R. J., Denny, H. W. (1983). *Grounding for the control of EMI*. Interference Control Technologies. ISBN-13: 978-0932263179.

Zhiqin H, Shenjun C. (2010). Analysis and Application of Small Current Grounding System Transient Based on Mathematical Models. In *International Conference on Electrical and Control Engineering*, (pp. 419-421). IEEE. DOI: 10.1109/iCECE.2010.108

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 15/05/2019
Aceitação/Acceptance: 25/07/2019

PSO Tuning for a Centralized Dead Time Compensator Applied to TITO Processes

Marco Herrera[1], Xavier Aguas[1], Jefferson Revelo[1], Oscar Camacho[1]

{marco. herrera, xavier.aguas, jefferson.revelo, oscar.camacho}@epn.edu.ec

[1] Departamento de Automatización y Control Industrial, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11·253, 17-01-2759, Quito, Ecuador.

Pages: 430–443

Abstract: In this paper, a dead time compensator (DTC) based on a centralized PI controller with Smith Predictor is designed. The proposed approach is applied to a two-inputs and two-outputs (TITO) process. The Davison Method is used to get initial tuning parameters for the DTC and then Particle Swarm Optimization (PSO) is utilized for getting the fine-tuning of parameters. The proposed controller is implemented on the Temperature Control Lab® (TCLab), it is modeled as a First Order Plus Dead Time (FOPDT) model using reaction curve method. Reference changes and uncertainty tests are performed. The DTC controller is compared against a centralized PI controller using performance indexes based on Integral Square Error (ISE) and Total Variation (TV).

Keywords: Smith Predictor; TITO process; PSO; Centralized PI Controller.

1. Introduction

The design of multivariable control systems presents many difficulties, mainly, due to interaction among inputs and outputs variables (Vijay Kumar, Rao, & Chidambaram, 2012). On the other hand, it is necessary to properly select the best pairing between manipulated variables and controlled variables. Therefore, by dealing with multivariable systems the pairing of input/output variables, the effect to interactions and options for decoupling different control goals are issues to be considered at the earlier stages of design (Albertos & Sala, 2004). Several authors have proposed decentralized controllers which work well when the interaction among different loops is minimum; however, they fail with strong interactions (Maghade & Patre, 2012). Different multi-loop control techniques have been proposed, including the tuning method (Luan, Chen, & Liu, 2015). For instance, the decentralized control system requires nxn controllers for controlling n output variables using n manipulated variables which is a disadvantage when use classical PI controllers. The centralized control system is easy implementation and presents low computational cost (Reddy, Chidambaram, & Al-Gobaisi, 1997), wherein an approximate tuning parameters procedure as the Davison method (Shaji & Chidambaram, 1996; Vinayambika, Priya, & Thirunavukkarasu, 2015) has been used.

The time delay appears in control loops due to distance velocity lags, the instrumentation due to sensors and analyzers can take an important time to produce their measurement results, recycle loops, empirical identification of industrial processes which are essentially non-linear and of high order; it can be possible to develop models of reduced order which have an inflection point that can be reasonably approximated as dead time (García & Albertos, 2010; Camacho & Leiva 2019). The challenge with the time delays in MIMO systems increases due to multivariable nature wherein different time delays are present in different control loops by the interactions. For the first time in 1957, Smith designed a delay compensator for single-input single-output (SISO) time-delay process (Xu, Hu, Heng Lee, & Yamamoto, 2001). On the other hand, in (Alevisakis & Seborg, 1973) a multi-input and multi-output (MIMO) process with equal time delay is extended. In (Wang, Zou, & Zhang, 2000) a decoupled Smith delay compensator for MIMO systems with multiple time delays used frequency domain approach for decouple design is proposed. These works are focused about the MIMO square systems.

The coupled multivariable controller is necessary for controlling systems with significant interactions (Wang, Zhang, & Chiu, 2003). The interaction effect can be reduced with smaller overshoot and faster response as (Liu, J., et al., 2014). For multivariable square systems, Davison has formulated a centralized PI controller design method based on the steady state gain matrix (Dhanya Ram & Chidambaram, 2015); a first step, system must be approached to first-order transfers functions with delay and within a point operation, then an equivalent transfer function matrix (ETF) will be obtained. Davison propose is calculate the inverse of steady gain matrix to find approximate tuning values for a centralized PI controller (Shen, Sun, & Xu, 2014). However, sometimes it does not provide good tuning and tends to produce a big overshoot (Solihin, Fook Tack, & Moey, 2011). Therefore, this method usually needs fine-tuning of two parameters before applied to MIMO systems.

In this paper a Dead Time Compensator (DTC) based on a centralized PI controller with Smith Predictor is designed. The proposed approach is applied to a two-inputs and two-outputs (TITO) process. The Davison Method is used to get initial tuning parameters for the DTC and then Particle Swarm Optimization (PSO) is utilized for getting the fine-tuning of parameters. The proposed controller is implemented on the Temperature Control Lab® (TCLab); it is modeled as a First Order Plus Dead Time (FOPDT) model using reaction curve method. Reference changes and uncertainty tests are performed. The DTC controller is compared against a centralized PI controller using performance indexes based on Integral Square Error (ISE) and Total Variation (TV). This paper is presented as follows: in section 2, a TITO process model based on reaction curve method is development. The control proposed is presented in section 3. In section 4, reference change and uncertainty model experimental tests are carried out in order to analyze the performance of the designed controllers. Finally, conclusions are presented in section 5.

2. TITO Process Modelling

The Temperature Control Lab® (TCLab) is a portable module for learning of process control. It is composed of two heaters (H_1, H_2), two temperature sensors (S_1, S_2), and the feedback control is accomplished through of Arduino platform using a software based on Python, MATLAB, or Simulink. In Figure 1, the TCLab scheme is shown.

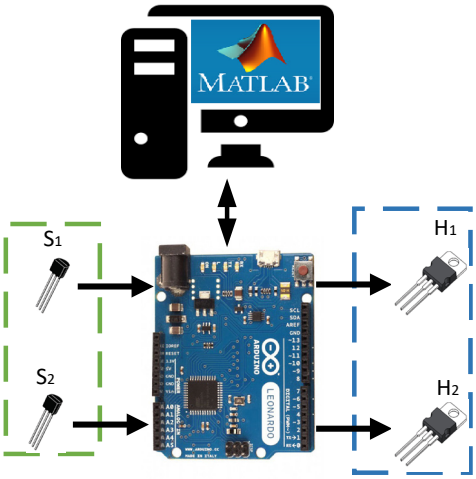


Figure 1 – Temperature Control Lab scheme.

In the TCLab, thermal energy is transferred by conduction, convection, and radiation to the temperature sensors from the heaters. Due to the interaction which the variables present on this system, H_1 transfers its thermal energy to S_1 and S_2, as well as H_2 transfers its thermal energy to S_1 and S_2. In order to determine a linear model of the TITO process a reaction curve method is used (Herrera, Gonzales, Leica, & Camacho, 2018) through of a variation on step input signal (Δu) and the output signal $y(t)$ response the process, this model can be approximated of a First Order Plus Dead Time model (FOPDT) as shows in Figure 2.

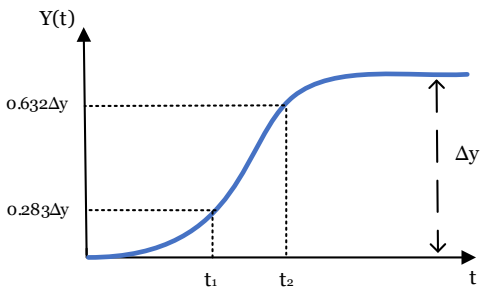


Figure 2 – Reaction Curve Method.

Where, the parameters of FOPDT model approximation are determined by:

$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1), \qquad t_0 = t_2 - \tau, \quad K = \frac{\Delta y}{\Delta u} \tag{1}$$

In addition, the inputs of TCLab process are percentages of duty cycle u_1 and u_2, applied on heaters H_1 and H_2 respectively, and the outputs are measured temperatures T_1 and T_2 from sensors S_1 and S_2 respectively. As a result, to the response of input step u_1 with a variation from 20% to 60%, output T_1 and T_2 are shown in Figure 3a. In the same line with input u_2, output T_1 and T_2 are shown in Figure 3b. As can be seen, both responses can be approximated to the FOPDT model wherein the transfer function model are represented by:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-\tau_0 s}}{\tau s + 1} \tag{2}$$

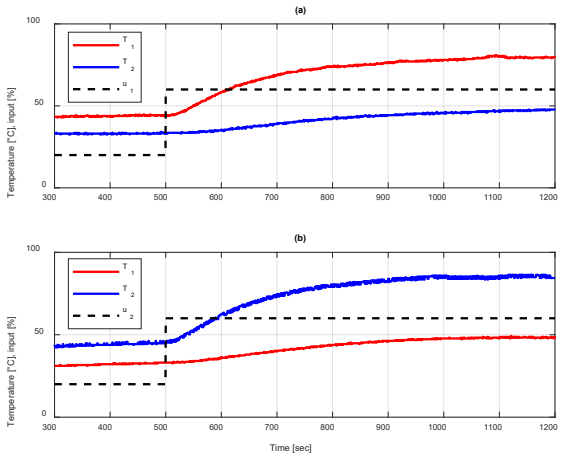


Figure 3 – Time response of TCLab for a input variation.

The Two-Inputs and Two-Outputs (TITO system) of the TCLab can be described as transfer functions matrix:

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = G(s) \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \tag{3}$$

where:

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.88e^{-13s}}{162s+1} & \frac{0.39e^{-79s}}{192s+1} \\ \frac{0.35e^{-59s}}{249s+1} & \frac{0.99e^{-25s}}{132s+1} \end{bmatrix} \tag{4}$$

3. Controller Design

In this section, the DTC based on centralized PI and centralized PI with Smith delay compensator controllers for TCLab are designed using the Davison method. The parameters of both controllers are tuning based on Particle Swarm Optimization (PSO).

3.1. Centralized PI Controller

The design of a centralized Proportional-Integral controller (PI) is based on the inverse of steady state gain matrix, this is known as the Davison method. Figure 4 shows a classical scheme of PI controller for TITO system which calculates an error value $\boldsymbol{e} = [\boldsymbol{e}_1 \quad \boldsymbol{e}_2]$ as the difference between a desired reference $\boldsymbol{r} = [\boldsymbol{ref}_1 \quad \boldsymbol{ref}_2]$ and a measured process variable $\boldsymbol{y} = [\boldsymbol{T}_1 \quad \boldsymbol{T}_2]$. The controller attempts to minimize the error by adjusting percentages of duty cycle $\boldsymbol{u} = [\boldsymbol{u}_1 \quad \boldsymbol{u}_2]$.

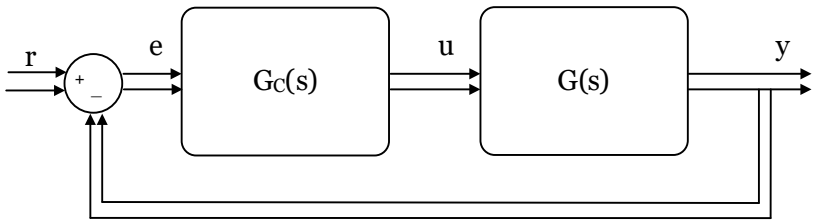


Figure 4 – Classical scheme of a centralized PI controller.

The Davison method of centralized multivariable PI controller is applied to TITO systems. The TCLab is square system and the inverse of steady gain matrix is given when $G(s = 0)$:

$$A = \begin{bmatrix} 0.88 & 0.39 \\ 0.35 & 0.99 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Thus, the inverse of matrix A is determinate as follows:

$$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} adj(A) \tag{6}$$

Therefore:

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 1.34 & -0.53 \\ -0.47 & 0.19 \end{bmatrix} \tag{7}$$

The PI controller gains of TITO system is given by:

$$K_c = \delta[A]^{-1}$$

$$K_I = \varepsilon[A]^{-1} \tag{8}$$

Where $[G(s=0)]^{-1}$ is called rough tuning matrix and fine-tuning parameters are ε and δ, wherein their usual range is from 0 to 1. The centralized controller is described for nxn PI controllers, where n is the number of inputs or outputs of the system:

$$PI_{n\times n} = K_C + \frac{K_I}{s}$$

Thus,

$$G_C(s) = \begin{bmatrix} 1.34\delta + \frac{1.34\varepsilon}{s} & -0.53\delta + \frac{(-0.53\varepsilon)}{s} \\ -0.47\delta + \frac{(-0.47\varepsilon)}{s} & 0.19\delta + \frac{0.19\varepsilon}{s} \end{bmatrix} \tag{9}$$

Therefore, control actions are defined as:

$$u_1 = 1.34\delta + \frac{1.34\varepsilon}{s} - 0.53\delta - \frac{0.53\varepsilon}{s}$$

$$u_2 = -0.47\delta - \frac{0.47\varepsilon}{s} + 0.19\delta + \frac{0.19\varepsilon}{s} \tag{10}$$

From equation 9, it can be noticed that the centralized PI controller uses the Davison method and just depends on the fine-tuning of the parameters δ and ε.

3.2. Centralized PI -DTC

Time delay is a phenomenon which commonly happens in physical, chemical, biological, economic, measurement, and computation system (Mirzal, 2017). The main advantage of DTC is to remove delay component from system's closed loop. Thus, removing the delay from the loop can improve system stability (Abe & Yamanaka, 2003).

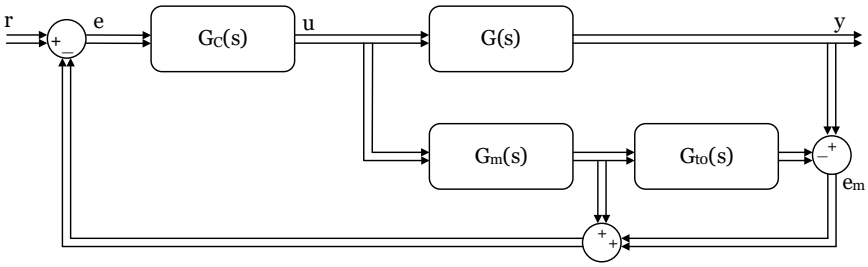


Figure 5 – Scheme of Smith predictor.

The scheme of Smith predictor is show in Figure 5. Where $G_C(s)$ is the controller (equation 9), $G(s)$ is the TITO system (TCLab), $G_m(s)$ represents the approximate system matrix without delay times and $G_{t0}(s)$ is the time delay-only matrix. Where, it considered which the modeling error (e_m) will be close to zero. $G_m(s)$ is written as:

$$G_m(s) = \begin{bmatrix} \frac{0.88}{162s+1} & \frac{0.39}{192s+1} \\ \frac{0.35}{249s+1} & \frac{0.99}{132s+1} \end{bmatrix} \tag{11}$$

and time delay-only matrix is:

$$G_{t0}(s) = \begin{bmatrix} e^{-13s} & e^{-79s} \\ e^{-59s} & e^{-25s} \end{bmatrix} \tag{12}$$

3.3. PSO Tuning for Centralized PI Controller

PSO is a global optimization algorithm for dealing with problems in which a best solution can be represented as a point or surface in an m-dimensional space (Pawar & Jadhav, 2017). PSO is an evolutionary computation method to solve optimization problems. In PSO, particles fly around in a multidimensional search space, where, each particle adjusts its position according to its own experience and the experience of neighboring particles, making use of best position encountered by itself and its neighbors. The swarm direction of a particle is defined by set of particles neighboring, the particle and its history of experience (Chaudhary, Raj, Kiran, Nema, & Padhy, 2013). In this work, the PSO is employed in order to tune offline the Centralized PI controller parameters. A candidate solution vector in search space is a vector containing all required information (Biswas, Maiti, Kolay, Sharma, & Sarkar, 2014) to construct a Centralized PI controller. This vector is formed by:

$$x = [\ \delta\ \ \varepsilon\ ] \tag{13}$$

where δ and ε are the finite-tuning gains. The procedure of PSO is to iterate the following equations 14-15.

$$v_{ij}^{(k+1)} = w\, v_{ij}^{(k)} + c_1 rand(\,)\left(pbest_{ij} - x_{ij}^{(k)}\right) + c_2\, rand(\,)\left(gbest_j - x_{ij}^{(k)}\right) \tag{14}$$

$$x_{ij}^{(k=1)} = x_{ij}^{(k)} \times v_{ij}^{(k+1)} \tag{15}$$

where i is a particle number, j is centralized PI parameter number, k is a iteration number, x are centralized PI parameters, v is a moving vector, $pbest$ is a personal best of particle i, $gbest$ is a global best of all particles, w, c_1 and c_2 are weight parameters, $rand\,(\,)$ is a uniform random from 0 to 1.

In this work, the objective function f is defined as the sum of integral absolute error:

$$f = \int |e_1(t)|\, dt + \int |e_2(t)|\, dt \tag{16}$$

where $e_1(t) = ref_1 - T_1$ and $e_2(t) = ref_2 - T_2$. Therefore, the PSO tuning of centralized PI is used in order to find a set of parameters such that the feedback control system

minimize the performance index described by equation 16. The PSO tuning parameters of TITO system are: 20 iterations, 10 particles with rank of $[0 \quad 3]$, $c_1 = 1.7$, $c_2 = 1.3$ and $w = 0.95$ using Matlab-Simulink 2018B. According to the results, the controller parameters are obtained: $\delta = 2.127$ and $\varepsilon = 0.014$.

The response obtained by PSO method for step change is shown in Figure 6.

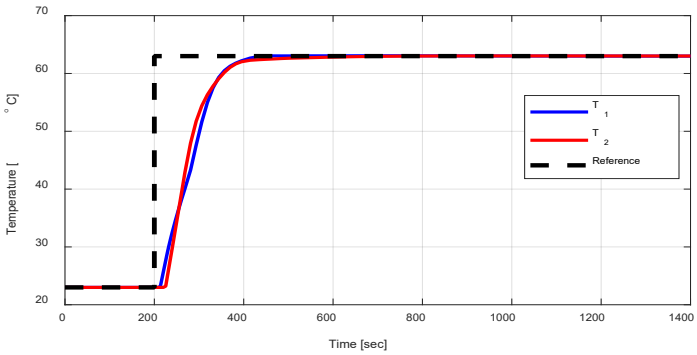


Figure 6 – Step response for PSO-based Centralized PI tuning.

4. Experimental Results

In this section, reference change and uncertainty tests were carried out in order to evaluate the centralized PI controller with Smith Predictor. The performance indexes (IAE and ISE) are calculated for detailed comparison among the centralized PI controllers for TCLab (Figure 7 – element 2). The tests were carried out on PC computer (Figure 7 – element 1) with an Intel(R)Core(TM) i7-5500U CPU @ 2.40GHz using a Runge-Kutta method with a sample time $t_s = 500$ ms on MatLab-Simulik 2018B as is shown in Figure 7.

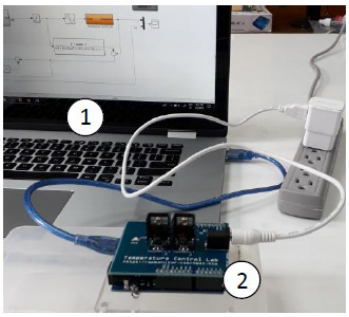


Figure 7 – TCLab experiment.

4.1. Reference change test

In this test, the reference ref_1 and ref_2 are changed from 23°C to 70°C at $t = 10[sec]$. Then, the reference ref_1 is changed from 70°C to 90°C at $t = 800[sec]$. Finally, the reference ref_1 is changed from 90°C to 70°C at $t = 1600[sec]$. In addition, the reference ref_2 is changed from 70°C to 90°C at $t = 2400[sec]$. Then, the reference ref_2 is changed from 90°C to 70°C at $t = 3200[sec]$. The time response of T_1 and T_2 for centralized PI controller with Smith Predictor (PI-DTC) and centralized PI controller are shown in Figure 8.

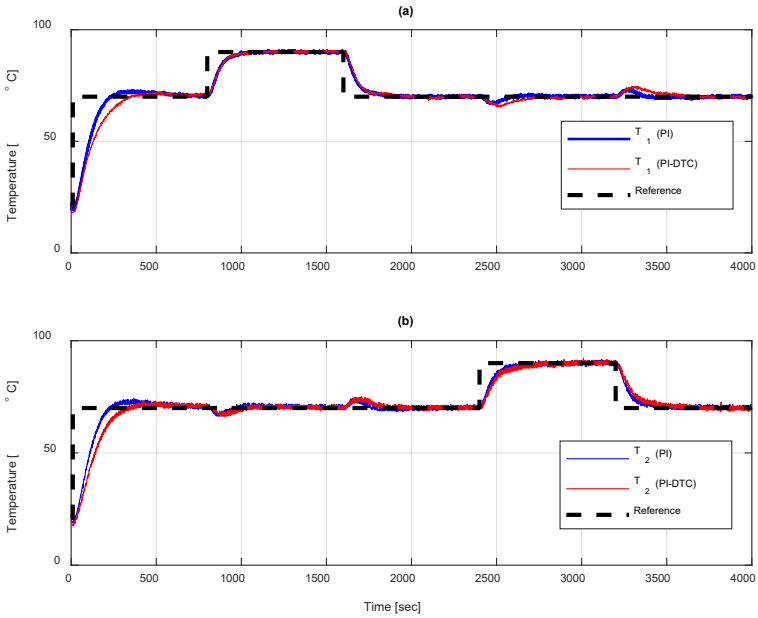


Figure 8 – (a) T_1 and (b) T_2 time responses for reference change test.

In Table 1, IAE and ISE performance indexes are shown, where for reference change test PI-DTC presents smaller IAE and ISE than centralized PI controller.

	PI		PI-DTC	
	T_1	T_2	T_1	T_2
IAE	2.9184e+05	2.9186e+05	2.9025e+05	2.9009e+05
ISE	2.1737e+07	2.1742e+07	2.1560e+07	2.1536e+07

Table 1 – Performance indexes for reference change test

The time response of control action of centralized PI controller and PI-DTC controller are shown in Figure 9. The control action of centralized PI controller presents peaks with high amplitude when reference change is applied.

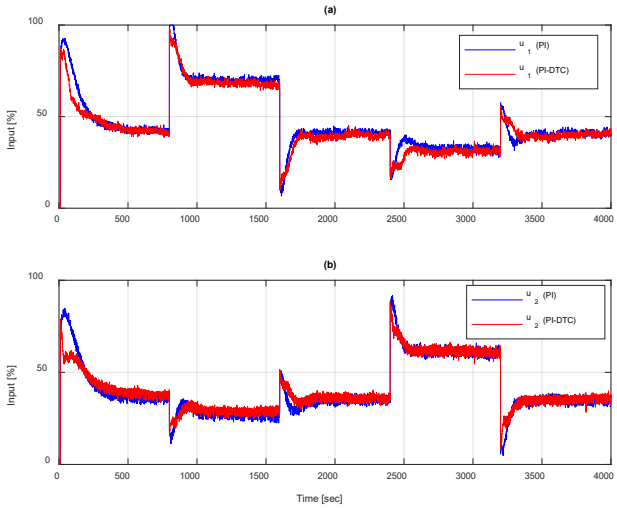


Figure 9 – (a) u_1 and (b) u_2 time responses for reference change test.

4.2. Uncertainty model test

In this test, a 50% variation of time delay is added on inputs u_1 and u_2. In the initial stage of this test, the reference ref_1 and ref_2 are change from 23°C to 70°C at $t = 10[sec]$. The time response of T_1 and T_2 are shown in Figure 10, where PI-DTC presents lower overshoot than centralized PI controller.

In a comparative study, performance indexes (IAE and ISE) for PI-DTC controller and the centralized PI controller are described in Table 2. It is observed that PI-DTC controller present lower IAE and ISE indexes than the centralized PI controller.

	PI		PI-DTC	
	T_1	T_2	T_1	T_2
IAE	5.1870e+04	5.1918e+04	5.0202e+04	5.0070e+04
ISE	3.6050e+06	3.6167e+06	3.3709e+06	3.3760e+06

Table 2 – Performance indexes for Uncertainty model test

The time responses of the control actions for the TITO process for Uncertainty model test are represented in Figure 11, where PI-DTC controller presents lower TV than

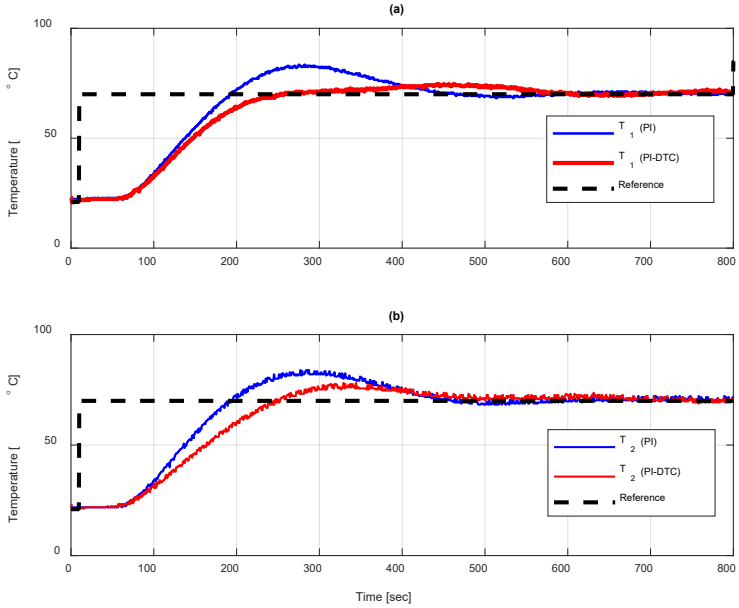


Figure 10 – (a) T_1 and (b) T_2 time responses for Uncertainty model test.

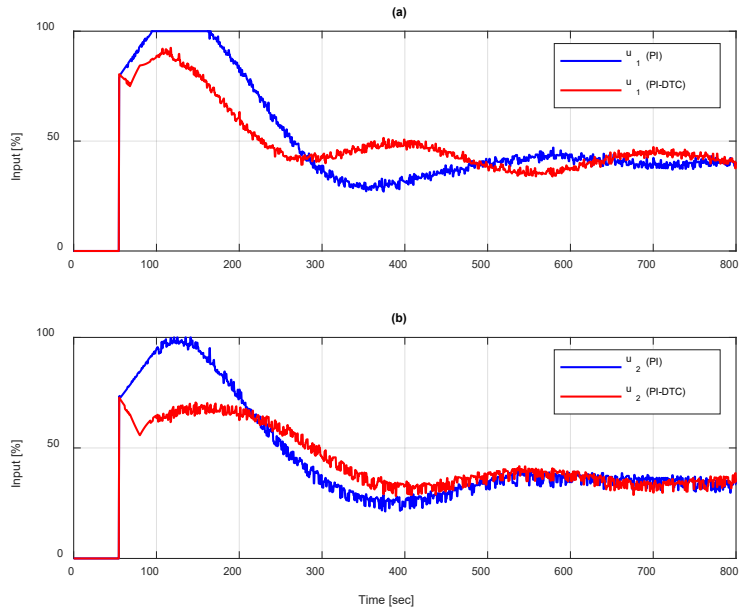


Figure 11 – (a) u_1 and (b) u_2 time responses for uncertainty model test

centralized PI controller according Table 3. Thus, the centralized PI controller needs more energy to minimize the influences of interactions.

	PI		PI-DTC	
	u_1	u_2	u_1	u_2
TV	1.0470e+03	1.5433e+03	1.0186e+03	1.5066e+03

Table 3 – Performance indexes for Uncertainty model test

5. Conclusions

In this work, a Centralized PI-DTC was designed wherein the Davison method and PSO were used to tune the parameters of the proposed approach. The suggested controller was successfully implemented on TITO process. Tests were done for reference changes and uncertainty in the model. The proposal controller presented better performance than the centralized PI controller.

Acknowledgements

Authors thank to PIS-17-04 Project of the Escuela Politécnica Nacional, for its sponsorship for the realization of this work.

References

Abe, N., & Yamanaka, K. (2003). Smith predictor control and internal model control - a tutorial. In *SICE 2003 Annual Conference (IEEE Cat. No.03TH8734)* (Vol. 2, p. 1383–1387 Vol.2).

Albertos, P., & Sala, A. (Eds.). (2004). Introduction to multivariable control. In *Multivariable Control Systems: An Engineering Approach* (pp. 1–16). London: Springer London.

Alevisakis, G., & Seborg, D. E. (1973). An extension of the Smith predictor method to multivariable linear systems containing time delays. *International Journal of Control*, *17*(3), 541–551.

Biswas, P., Maiti, R., Kolay, A., Sharma, K. Das, & Sarkar, G. (2014). PSO based PID controller design for twin rotor MIMO system. In *Proceedings of The 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication (CIEC)* (pp. 56–60).

Camacho, O., Leiva, H. (2019). Impulsive semilinear heat equation with delay in control and in state. *Asian Journal of Control*. https://doi.org/10.1002/asjc.2017

Chaudhary, N., Raj, R., Kiran, K., Nema, S., & Padhy, P. K. (2013). Improved asynchronous PSO based design of multivariable PID controller. In *2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)* (pp. 1–4).

Dhanya Ram, V., & Chidambaram, M. (2015). Simple method of designing centralized PI controllers for multivariable systems based on SSGM. *ISA Transactions*, *56*, 252–260.

García, P., & Albertos, P. (2010). Dead-time-compensator for unstable MIMO systems with multiple time delays. *Journal of Process Control*, 20(7), 877–884.

Herrera, M., Gonzales, O., Leica, P., & Camacho, O. (2018). Robust controller based on an optimal - integral surface for quadruple-tank process. In *2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)* (pp. 1–6).

Liu, J., Chen, N., Yu, X., & Tan, S. (2014). Modified internal model control for non-square systems based on Smith delay compensator control. *Sensors & Transducers*, 165(2), 96–101.

Luan, X., Chen, Q., & Liu, F. (2015). Equivalent transfer function based multi-loop PI control for high dimensional multivariable systems. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 13(2), 346–352.

Maghade, D. K., & Patre, B. M. (2012). Decentralized PI/PID controllers based on gain and phase margin specifications for TITO processes. *ISA Transactions*, 51(4), 550–558.

Mirzal, A. (2017). Delay Compensation using the Smith Predictor: A brief review with numerical examples. *The International Journal of Computer-Aided Mechanical Design and Implementation*, 3, 1–8.

Pawar, R. N., & Jadhav, S. P. (2017). Design of NDT and PSO based decentralised PID controller for wood-berry distillation column. In *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)* (pp. 719–723).

Reddy, B. C., Chidambaram, M., & Al-Gobaisi, D. M. K. (1997). Design of centralized controllers for a MSF desalination plant. *Desalination*, 113(1), 27–38.

Shaji, C., & Chidambaram, M. (1996). Robust decentralized PI controllers for crude unit product quality. *Process Control and Quality*, 4(8), 167–175.

Shen, Y., Sun, Y., & Xu, W. (2014). Centralized PI / PID controller design for multivariable processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(2), 10439–10447.

Solihin, M., Fook Tack, L., & Moey, L. K. (2011). Tuning of PID controller using particle swarm optimization (PSO). In *Proceeding of the International Conference on Advanced Science, Engineering and Information Technology*.

Vijay Kumar, V., Rao, V. S. R., & Chidambaram, M. (2012). Centralized PI controllers for interacting multivariable processes by synthesis method. *ISA Transactions*, 51(3), 400–409.

Vinayambika, S. B., Priya, S. S., & Thirunavukkarasu, I. (2015). A comparative study on control techniques of non-square matrix distillation column. *International Journal of Control Theory and Applications*, 8(3), 1129–1136.

Wang, Q.-G., Zhang, Y., & Chiu, M.-S. (2003). Non-interacting control design for multivariable industrial processes. *Journal of Process Control*, 13(3), 253–265.

Wang, Q.-G., Zou, B., & Zhang, Y. (2000). Decoupling smith predictor design for multivariable systems with multiple time delays. *Chemical Engineering Research and Design*, *78*(4), 565–572.

Xu, J.-X., Hu, Q., Heng Lee, T., & Yamamoto, S. (2001). Iterative learning control with Smith time delay compensator for batch processes. *Journal of Process Control*, *11*(3), 321–328.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 21/05/2019
Aceitação/Acceptance: 24/07/2019

Sorting urban-marginal areas in Ecuador by weighting energy consumption indicators

Y. González Cañizalez[1], J. Hidalgo-Crespo[1], S. Coello Pisco[1], J. Barzola Monteses[2,3], L. Alonso Águila[2]

yomar.gonzalezc@ug.edu.ec, jose.hidalgocr@ug.edu.ec, silvia.coellop@ug.edu.ec, julio.barzolam@ug.edu.ec, luis.manuela@ug.edu.ec

[1] University of Guayaquil, Faculty of Industrial Engineering. Guayaquil, Ecuador.

[2] University of Guayaquil, Faculty of Mathematics and Physical Sciences. Guayaquil, Ecuador.

[3] Universidad de Granada, Escuela Técnica Superior de Ingenierías, Informática y Telecomunicaciones. Granada, España.

Pages: 444–457

***Abstract*:** A sorting algorithm based on Theory of Decision in Uncertainty is implemented to rank urban-marginal areas in Guayaquil City according to 11 indicators that significantly impact energy consumption. Links between elements are set assigning roles: the object susceptible to the affectation and the object to be affected, organized in an arrangement leading to decide if such relations really exist in terms of ordering and grouping zones according to energy consumption pattern. From 700 thousand users of urban-marginal areas of Ecuador, 200 thousand can be found in Guayaquil. Setting an order arrange implies a simple way to prioritize which areas require more attention according to future energy policies. The matrix form of the method not only allows to set such relationships, but also to weight the main indicators by area by using axioms of preference. Results show that *Vergeles* and *Guasmo* present the best consumption pattern, while *Mapasingue* and *Monte Sinaí* present less tendency towards the optimization of demand.

Keywords: energy demand; energy consumption; sorting algorithm; theory of decision.

1. Introduction

Ecuador has proposed various energy plans. Most of them dealing with energy demand adaptation or resource conservation actions, hoping to avoid common problems of energy supply.

However, clear explanations of how to mitigate the energy problems generated by the unplanned growth of marginal and rural areas in expanding cities, such as the city of Guayaquil (Ecuador) remains uncertain. In fact, Ecuador does not have official statistics about global consumption indicators since the last decennial census (INEC, 2010a).

In 2017 the Electricity Regulation and Control Agency of Ecuador (Arconel, 2017) reports to Guayas as the province with a sustained annual growth rate since 2011 and the highest

electric energy billing, concentrating 36% of the national demand (7037.13GWh) within a corresponding residential consumption close up to 36.52%.

Guayaquil is the most populated city in this province (more than 2,350,915 inhabitants), with an approximate population growth rate of 13.7% (El Comercio, 2011). The city has 16 urban towns (concentrating more than 40% of the population) and 5 rural towns, subdivided into administrative urban circuits: 54 urban and 3 rural, with 92.7% of homes with electric service (Villacís & Carrillo, 2012). We should mention that in this study only a population sample was considered in densely populated urban marginal areas of the city: *Mapasingue* to the north, *los Guasmos*, *los Esteros* and *las Malvinas* in the south; as well as the relatively recent invasions in areas of the north: *Los Vergeles*, *Bastion Popular*, *Monte Sinai*, among others. Sectors influenced by its conurbation with *Durán* and *la Puntilla de Samborondón* that accumulate unsatisfied basic needs due to the uncontrolled expansion and a complex socio-environmental problem (Senplades, 2015). The subscribers of these regions have consumption patterns that directly impact the cost and the amount of Kw required by a household, influencing the ordering and comparison of these sectors by the Ecuadorian government based on energy consumption indicators.

The Electrification Master Plan 2013-2022 (Conelec, 2017) reports a constant growth rate of subscribers through the FERUM reaching 700 thousand clients all over the country by 2019, representing 10% of the demand expected for this year, calculated at 8000 GWh, with maximum load points in the range of 18-24 hours.

There is not official data about the number of inhabitants in those sectors. However, based on the above information, considering a constant population and GDP growth rate and maintaining the hypothesis that the Guayaquil city covers more than 50% of the Guayas population, it is reasonable to think that the number of FERUM subscribers in Guayaquil could be estimated in 200 thousand by 2019, implying an estimated energy demand of 200 GWh. Assuming this situation is currently maintained, the incidence of growth in demand by the urban marginal sectors may compromise the State's forecasts in energy issues.

The implementation of an algorithm for the ordering of the electric energy consumption pattern within urban-marginal sectors of Guayaquil is presented, based on chosen indicators related to socioeconomic aspects, needs and consumption habits that impact the demand, as well as historical data provided by the local distribution company (CNEL EP-Guayaquil). A list of 11 indicators is the result of a micro-level interrelation analysis among all determinant factors considered in a general regression model to estimate energy demand in urban-marginal sectors (Hidalgo, Coello, & Gonzalez, 2018).

The paradigm leading sorting and comparison algorithms considers a set of individuals making decisions and/or adopting behaviors that shape the consumption pattern of the region they inhabit, which allows analyzing all zones and the main attributes with a rule of equivalent weight. Sorting a group of zones (or sectors) means locating the individual preferences (if they satisfy certain basic criteria of logical consistency) to reach a sequence that represents an order, without necessarily considering the nature of such preferences. (González, 2004; García, 2015)

The matrix form of the method not only allows to set such relationships, but also to weight the main indicators by area and thus, prioritize future energy policies. In this context, any conventional socio-economic analysis based on descriptors usually reported can be complemented.

The theoretical emphasis of this paper means the beginning of the analysis of uncertainties in networks (assuming this network as regions with similar patterns or characteristics) derived from axioms of preference that provide criteria for the rationality of consumption energy choices without a numerical statement that necessarily quantify the uncertainties.

Setting initial considerations, relationships of different nature can be formalized allowing the formulation of theories, models and algorithms filling the gap between the relationship and the decision. The applications can be varied: the social representation (Páez & Ayestarán, 1987), matrix representation of the generalized diffuse theory by Molodtsov in 1999 to make decisions on problems that contain uncertainty (Çağman & Enginoğlu, 2010), comparing songs based on the analysis of similarity between them (United States Patente nº US 2016/0292272 A1 , 2016), comparing models to minimize functions (Aliaga Benavides, Santana Pacheco, Mustelier hechavarría, & Guzmán Bazán, 2017), comparison and evaluation about preferences in photographs with a certain level of subjectivity (Taiki, Aoi, & Makoto, 2017).

Previous works have in common that certain basic criteria of logical consistency must be satisfied according to the nature of attributes. In this case we are talking about energy consumption indicators usually treated as independent macroeconomic variables: GDP, population growth and others are used to estimate the electricity consumption for a country (Maluf, Rumenos, & Bacchi, 2019). Saif Kayed Al-Bajjali (2018) established the long-term relationships of six independent variables: GDP, electricity prices, population, urbanization, structure of economy and aggregate water consumption. Tian Sheng Allan Loi (2018), also seeked to quantify price and income elasticities in Singapore using a panel approach across dwelling types and geographical areas.

Nevertheless, behavioral patterns and socioeconomic characteristics have been defined with household characteristics to be more influencing in the electricity consumption of a household (Carolina Grottera, 2018). Kim (2018) provided a literature review of the socio-economic, dwelling and appliance related factors that affect domestic electricity consumption.

The conclusions regarding the causal effect of some of these factors has varied between previous studies and some factors were found to have been studied more frequently than others.

2. Methodology

2.1. Elements in decision theory based on uncertainty

The ordering algorithm based on a fuzzy relation of order 2 ($G \subset PxC$), represents the existing relationships between elements of a referential set or between two or more

attributes or determinants. It is particularly useful when social realities suffer convulsions that avoid linear techniques, such as the electric energy demand in populations in constant growth without supervision.

Links between elements are set assigning roles: the object susceptible to the affectation and the object to be affected, organized in an arrangement leading to decide if such relations really exist and how they allow explaining the phenomenon in terms of ordering and grouping zones according to energy consumption pattern. In general, the algorithm requires the existence of a referential set of *m* elements $P = \{P_1, P_2, \cdots, P_m\}$ sharing a relationship to a certain level. It is also possible to stablish an existing relationship among *n* elements of another referential set (with diffuse properties and characteristics) called $C = \{C_1, C_2, \cdots, C_n\}$, based on the premise that internal relations between elements $P_1, P_2, \cdots, P_m$ or $C_1, C_2, \cdots, C_n$ are no longer possible. Relation (1) shows how large or small can be the relationship between $P_j P_j$ and $C_i C_i$ depending on certain values $\mu_{ij} \epsilon [0,1]$ $(i = 1,2, \ldots, n; j = 1,2, \ldots, m)$. The relationships can be represented in matrix form and in an arrow chart following Gil-Aluja (Gil-Aluja, Elements for a Theory of Decision in Uncertainty, 1999):

$$\begin{array}{cccccc} & P_2 & P_2 & \cdots & P_m \\ C_1 & \mu_{(C1,P1)} & \mu_{(C1,P2)} & \cdots & \mu_{(C1,Pm)} \\ C_2 & \mu_{(C2,P1)} & \mu_{(C2,P2)} & \cdots & \mu_{(C2,Pm)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_n & \mu_{(Cn,P1)} & \mu_{(Cn,P2)} & \cdots & \mu_{(Cn,Pm)} \end{array} \qquad (1)$$

Where $P = \{P_1, P_2, \cdots, P_m\}$ represents the set of urban-marginal zones or regions and $C = \{C_1, C_2, \cdots, C_n\}$, the attributes or descriptors that affect the behavior of the energy demand in P_j zone.

In fact, the traditional Theory of Decision addresses the cases of risk and uncertainty based on the concept of the nature states randomness if the probability distribution of those states can be assumed; in the case of uncertainty, is the decision maker who establishes subjective probabilities about the different states of nature. This often happens when trying to model systems that include human aspects (Armario, 1982).

The set C will be diffuse if C∈G and its elements have membership levels (1), where the function $\mu_{ij}(C_i)$ expresses the intensity of the membership of the element C_i to elements of P set (urban-marginal zones). A fuzzy set can then be expressed as a pair of values, as indicated

$$C = \{C_i, \mu_{ij}(C_i) \mid C_i \in G\} \qquad (2)$$

The diffuse PxC matrix can be normalized by $\max[\mu_{ij}(C_i)]$, considering the average of $\mu_{ij}(C_i)$.

The diffuse objective is stablished a certain level without precision for a fuzzy subset P. In this case it is stablished as "The consumption pattern must be optimal per zone/ region". A precise value of energy demand will remain unknown. This uncertainty was considered and treated by means of the subset A(C). This implies that all elements

satisfied $\mu_{ij}(A_i) > 0$. The subset A (C) must be chosen according to the degree of incidence on the energy demand behavior.

The set O is defined as the resulting space of alternatives where values mean the intensity with which any element O_{jk} belongs to our objective (3). This incidence is a result from comparing numerically the relevance of the subset P elements for each subset A (C) elements (Armario, 1982).

$$O = \{P_j, \beta_0(P_k) \mid O_{jk} = 1, \text{si } \beta_0(P_k) \geq h \text{ y } O_{jk} = 0, \text{si } \beta_0(P_k) < h\} \quad (3)$$

The approach (3) implies that if there is any relation of the element P_j with an element P_k, then a flow or potential equal to the unit must appear in the coordinates (P_j, P_k).

The diffuse decision D supposes a choice within the space of the alternatives where the objective O and the restriction R converge (4)

$$D = O \cap R \quad (4)$$

In this case, we will suppose that D depends on the intensity with which any element O_{jk} belongs to our objective and of the set restriction R. The set R contains subjective declarations (according to the expertise) leading to the appropriate selection of the relationship level (μ_{ij}) or the complement ($1-\mu_{ij}$).

Obtaining the maximum link in the matrix O is equal to determining the maximum flow (or potential) of the associated graph, according to the statement of the König Theorem (1931), which establishes the consecutive order of the process of elimination of rows and columns corresponding to each $O_{j,}$ and the position of P_j within the set D (O).

The analysis of equation (4) determines the decreasing order for the zones or elements P_j according to the pattern of electrical consumption and where it is not very reliable to assume certain statistical laws, because the available information is poorly structured. The zone with the best pattern would be the one that obtains the highest valuation and will correspond to the zone with the highest number of zeros per column j.

2.2. Analysis of energy demand in urban-marginal areas of Guayaquil

To evaluate the pattern consumption and convenience of the assignments (relationships), a descriptive investigation was conducted based on an estimated objective population of 1,672,000 inhabitants in the Guayaquil city (Censos, 2010), by applying a survey in July 2018 to a randomly representative sample of 1056 households (formally connected) in 8 urban-marginal zones (see Table 1): *Mapasingue*, *Los Vergeles*, *Bastion Popular*, *Monte Sinai* and *Flor de Bastion* to the north; and *Guasmos*, *Esteros* and *Malvinas* to the south. A 94% confidence level was assumed for each zone.

It was also considered that the objective factors that condition the study do not vary in the short term, since the socio-economic and political environment of the region has not changed significantly since the data collection date.

Households	Zones (P_j)
189	Bastión Popular
110	Esteros
135	Flor de Bastión
42	Guasmo
100	Malvinas
189	Mapasingue
164	Monte Sinaí
127	Vergeles

Table 1 – Representative sample

The survey design considered descriptors that impact the consumption and energy demand pattern: socioeconomic, needs and consumption habits. The household data included the structure characteristics, income and expenses, education level, the electricity cost and consumption, characteristics of electrical appliances, habits, among others.

Hidalgo, Coello, & Gonzalez (2018) began the study of electricity consumption in one of the most representative urban-marginal areas given the recent demographic growth rate: *Monte Sinaí*. This case study was taken as a model for the subsequent econometric analysis of the remaining zones.

Indicators (Atributes)	Parameters*
Constant	0,105460 (0,324849)
Per Capita income	0,434916 (3,029988)
Per Capita utility	-0,063835 (-1,133225)
Mid-education/house size	0,214537 (1,604480)
Labor/house size	0,299236 (2,073887)
Inhabitants	-0,180421 (-1,005206)
*LR***	9584,74 (0.00)

*Statistical Z (in parenthesis)
**Probability relationship and probability considering null hypothesis (in parenthesis)

Table 2 – Energy demand *Per Capita* in urban-marginal zones: Tobit parameters estimation

Based on Tobit regression model, the energy demand was estimated based on the existing elasticities between the independent variables. As an example, Table 2 shows preliminary results obtained for 5 of these, assuming an error term normally distributed.

Preliminary results highlight the impact that descriptors such as income and per capita income have on energy demand, as well as the relationship between the labor force and

the size of the household. The result is supported by observations in other worldwide areas with similar socioeconomic and demographic conditions (Sanjinés, 2011; Niu, Jia, Ye, Dai, & Li, 2016; Cosmo & O'Hora, 2017).

Based on the previous results and the possible combinations of descriptors for determining demand using a regression model, another question arise: What are the variables that best describe the energy demand in those zones? These variables were relevant in the process of assigning the diffuse relationships within the method.

Selection of elements A (C): relevant descriptors

To sorting zones, the descriptors were evaluated according to the impact on consumption and demand pattern of electric energy (Table 3). An ordinary Least Squares (OLS) by using R application, provided a global model of the explanatory variables that allowed selecting those that met the null hypothesis: A_i is related to P_j.

Each cell (Ai,Pj) shows the parameter β_i of the explanatory variable and the associated significance level α for the model $y_i = \beta_0 + \beta_1 A_i + \varepsilon$. If α is greater, it implies that ε tends to zero, guaranteeing that α <p value.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
A_1	18.4 (3.83)	15.54 (1.24)	11.46 (1.34)	19.60 (0.89)	2.98 (0.47)	1.07 (0.17)	8.17 (1.87)	14.92 (2.29)
A_2	-2.5e-9 (-0.01)	0.02 (0.14)	0.24 (2.11)	0.20 (0.66)	1.7e-3 (0.02)	0.02 (0.32)	0.11 (1.81)	0.21 (2.73)
A_3	12.20 (2.01)	24.45 (1.73)	11.77 (1.14)	4.97 (0.14)	6.82 (0.84)	8.84 (1.25)	15.91 (1.98)	15.39 (1.82)
A_4	7.88 (1.47)	32.49 (2.33)	12.94 (1.17)	7.82 (0.85)	-3.96 (-0.49)	11.14 (0.71)	10.41 (9.8)	6.31 (0.89)
A_5	0.14 (4.01)	0.102 (1.04)	0.08 (1.34)	0.07 (0.51)	0.02 (0.55)	-0.002 (-0.04)	0.048 (1.45)	0.097 (2.28)
A_6	14.25 (1.99)	44.52 (2.78)	29.47 (2.38)	9.15 (0.18)	6.49 (0.45)	7.27 (0.76)	-30.13 (-1.01)	-24.36 (-0.7)
A_7	4.55 (1.91)	1.22 (0.36)	9.83 (2.89)	6.76 (0.72)	3.63 (1.04)	4.51 (2.1)	3.31 (1.54)	3.93 (1.58)
A_8	0.061 (2.32)	0.09 (2.5)	0.09 (3.89)	0.14 (1.73)	0.07 (2.71)	0.04 (1.42)	-0.04 (-0.47)	-0.05 (-0.56)
A_9	0.034 (0.82)	0.08 (1.32)	0.06 (1.37)	0.26 (1.87)	0.25 (2.55)	-0.015 (-0.16)	0.03 (0.47)	0.08 (1.98)
A_{10}	4.97 (0.8)	6.37 (0.44)	33.41 (3.79)	NaN	21.04 (3.16)	17.62 (2.45)	14.34 (2.28)	5.62 (0.77)
A_{11}	46.24 (1.96)	64.93 (1.32)	21.42 (0.67)	-35.75 (-0.52)	0.17 (0.01)	54.86 (2.04)	-103 (2.05)	16.38 (0.85)

Significance level α (in parenthesis)

Table 3 – Descriptors A(C): correlation analysis

The elements of the reference sets $P = \{P_1, P_2, \cdots, P_m\}$, and $A(C) = \{A_1, A_2, \cdots, A_n\}$ and restriction R are depicted in table 4.

Zones (P_i)	Descriptors (A_i)	Restrictions (R_i)
Bastión popular	A1: household inhabitants	R1: less possible
Esteros	A2: household social level*	R2: largest possible
Flor de Bastión	A3: number of adults	R3: largest possible
Guasmo	A4: house mid-education level	R4: largest possible
Malvinas	A5: household weekly presence (hours)	R5: less possible
Mapasingue	A6: house labor	R6: largest possible
Monte Sinaí	A7: number of electrical appliances	R7: less possible
Vergeles	A8: household income	R8: less possible
	A9: household outcome	R9: largest possible
	A10: number of rooms	R10: less possible
	A11: tenure	R11: less possible

** stratification of socioeconomic level - National Institute of Statistics and Census of Ecuador (INEC)

Table 4 – Selected elements for each subset P, A(C) and R

2.3. Sorting algorithm implementation

The basis of this algorithm appears formally developed in (Gil-Aluja, Elements for a Theory of Decision in Uncertainty, 1999) (Gil-Aluja, Entre la epistemología y la lógica. Desición y algoritmo de ordenación, 2001).

Following (1), the matrix G (G⊂PxA (C)) is formed. The estimate normalized values $\mu_{ij} = \bar{A}_i / \max(A_i)$, $i = 1, \ldots, 11$ for each cell represent the level at which each element of the set P complies with the qualities of set A. The complementary relations ($1-\mu_{ij}$) is also used to set the optimal behavior of the demand according to restrictions established in Table 4.

The next step is weighting the incidence of descriptors A_i on the energy demand behavior by pairs of zones (5), from where the square matrix β $(\beta_{jk} = q_{jk}/n;\ j, k = 1, \ldots, 8)$ arises. Now we have an array comparing zones with each other based on the selected descriptors. Note that diagonal elements do not affect the ordering decision.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
P_1	X	0.82	0.55	0.45	0.36	0.73	0.73	0.36
P_2	0.18	X	0.36	0.18	0.27	0.55	0.55	0.27
P_3	0.45	0.64	X	0.27	0.27	0.64	0.45	0.09
P_4	0.55	0.82	0.73	X	0.55	0.82	0.82	0.45
P_5	0.64	0.73	0.73	0.45	X	0.82	0.82	0.36
P_6	0.27	0.45	0.36	0.18	0.18	X	0.64	0.18
P_7	0.27	0.45	0.55	0.18	0.18	0.36	X	0.09
P_8	0.64	0.73	0.91	0.55	0.64	0.82	0.91	X

(6)

The intensity with which any element of O belongs to the objective should be evaluated. That means choosing thresholds values for relation (3) to provides the best possible order. For instance, when h = 0.7 it is assumed that $O_{jk} = 1$ (if $\beta_{jk}(P_k) \geq h$) and $O_{jk} = 0$ (if $\beta_{jk}(P_k) < h$), leading to the array (7).

A value $O_{jk} = 1$ implies that Pj exceeds P_k for all descriptors selected in A (C). In other words, if $O_{jk} = 0$ means that the consumption pattern of zone k is better than zone j. This already establishes an implicit sorting.

According to relation (4), D(O) is determined by a consecutive elimination of corresponding rows and columns reaching a better sorting for a chosen threshold h. For a given h, the better zone P_j will correspond to that having the large number of null elements in each column j. For each elimination step l, we define Q_l as the set of elements of P that comply with the best performance, until the minimum representation of D(O) be reached.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
P_1	X	1	0	0	0	1	1	0
P_2	0	X	0	0	0	0	0	0
P_3	0	0	X	0	0	0	0	0
P_4	0	1	1	X	0	1	1	0
P_5	0	1	1	0	X	1	1	0
P_6	0	0	0	0	0	X	0	0
P_7	0	0	0	0	0	0	X	0
P_8	0	1	1	0	0	1	1	X

(7)

Setting l = 1 the following indices are calculated {7,3,4,7,7,3,3,7}, establishing zones with best performance about energy consumption $Q_1(O) = \{P_1, P_4, P_5, P_8\}$ and the columns and rows that must be eliminated from O for the next step.

The König Theorem allows demonstrating that in each elimination the relation (8) is fulfilled, establishing in each step l the best valued zones in decreasing order.

$$D_l(O) = Q_l(O) \tag{8}$$

Now l = 2 and the new indices are {3,3,3,3}, leading to $Q_2(O) = \{P_2, P_3, P_6, P_7\}$ as the new solution D (O) for remaining zones. The sorting of urban-marginal zones of the city of Guayaquil is established according to the expression (9).

$$D(O) = \{D_1(O), D_2(O) \mid D_1(O) > D_2(O)\} \text{ o } D(O) = \{P_1, P_4, P_5, P_8\} > \{P_2, P_3, P_6, P_7\} \tag{9}$$

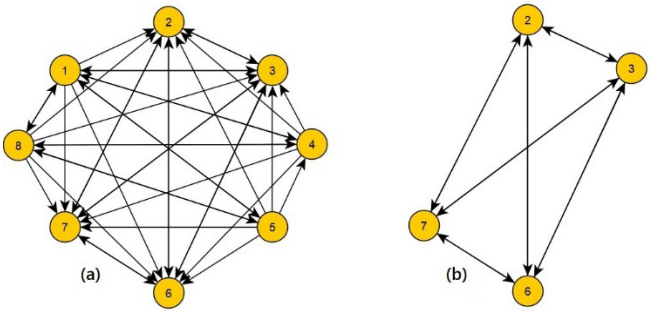


Figure 1 – Graph representation of the binary matrix O for h≥0.7: (a) initial graph for l=1, (b) graph for l = 2. Notice when l=2, the elimination is finished since each zone affected with the same proportion.

The graph associated with (7) is shown in Figure 1. Notice the impact of the threshold h. In this case, the order shown in (9) did not allow to differentiate the behavior of each zone properly, forcing to choose a new threshold h. This process must continue until the expertise determines the best possible array showing the best distribution of ones and zeros meaning that most incidents become unidirectional.

3. Results

Given the fact that a detailed analysis of h is necessary and considering the original array (6), the results of sorting zones for each threshold are presented in Table 5. The analysis follows the step-by-step procedure depicted in subsection 2.3 for the initial value h.

As mentioned previously, values h≥0.7 implies that relations between the element Pj and P_k cannot be fully established. This means that many flows were setted to zero. This is the reason why is not easy to differentiate each behavior according to the chosen consumption indicators.

For h≥0.4 the graph representation shows bidirectional incidences in several zones, which allows an “apparent” ordering, but a big zero values remain.

Threshold (h)	Sorting (D(O))
≥ 0.7	$\{P_1, P_4, P_5, P_8\} > \{P_2, P_3, P_6, P_7\}$
≥ 0.6	$\{P_8\} > \{P_1, P_2\} > \{P_4, P_5\} > \{P_6\}$
≥ 0.5	$\{P_8\} > \{P_4\} > \{P_5\} > \{P_1\} > \{P_2, P_3\} > \{P_6\} > \{P_7\}$
≥ 0.4	$\{P_8\} > \{P_5\} > \{P_4\} > \{P_1\} > \{P_3\} > \{P_6\} > \{P_2, P_7\}$

Table 5 – Impact of threshold selection on sorting urban-marginal zones

Choosing h≥0.5 leads to an almost perfect ordering which means an acceptable distribution of the incidences based on the selected indicators (see Figure 2), denoting the maximum flow in marginal-urban sectors of Guayaquil.

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
P_1	X	1	1	0	0	1	1	0
P_2	0	X	0	0	0	1	1	0
P_3	0	1	X	0	0	1	0	0
P_4	1	1	1	X	1	1	1	0
P_5	1	1	1	0	X	1	1	0
P_6	0	0	0	0	0	X	1	0
P_7	0	0	1	0	0	0	X	0
P_8	1	1	1	1	1	1	1	X

(10)

Again, following the approach (3), the intensity with which any element of O belongs to our objective for the threshold h≥0.5 is depicted. The matrix (10) shows the incidences of the attributes A (C) on the ordering process of 8 urban-marginal zones in Guayaquil city.

On the other hand, any value 0.5≥h≥0.4 would yield the same result within h≥0.4 and values h≤0.4 have no practical meaning.

According to results, zone 8 (*Vergeles*) has a more stable behavior pattern for the descriptors selected in A(C), followed by *Guasmo* and *Malvinas*, *Bastion Popular*, *Esteros*, *Flor de Bastión*, etc.

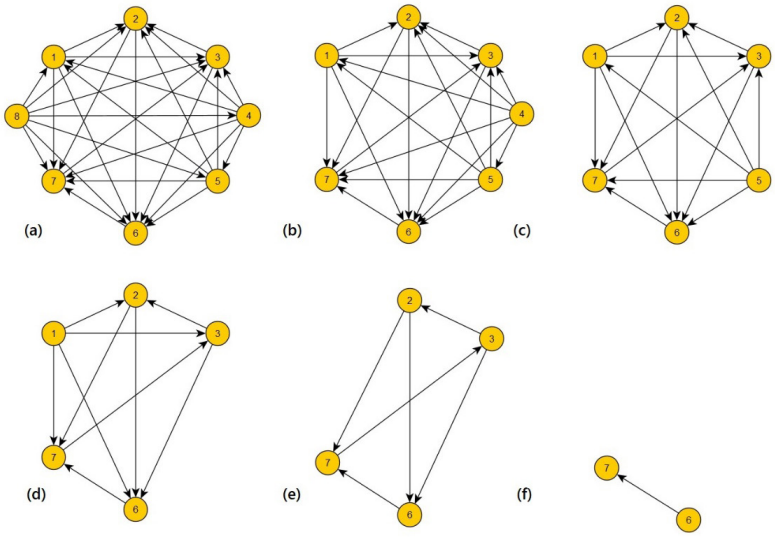


Figure 2 – Graph representation of the binary matrix O for h≥0.5: (a) initial graph, (e) graph for l = 6, (f) graph for l = 7. Notice that sorting has been almost perfect showing unidirectional incidences

4. Concluding remarks

This paper presents the application of a fuzzy mathematical algorithm for the ordering of geographical areas based on socioeconomic indicators of residential electric consumption in urban-marginal areas of Guayaquil-Ecuador.

The key of correspondence is that sorting regions based on attributes that optimize the energy demand begins from a multivariable classification problem that considers indicators previously hierarchized by a linear regression analysis of the household's consumption pattern. The subset A(C) was chosen according to the degree of incidence on the energy demand behavior.

Vergeles and *Guasmo* show the best consumption pattern with respect to A(C), while *Mapasingue* and *Monte Sinaí* present less tendency towards demand optimization. The results obtained by Hidalgo, Coello & Gonzalez (2018) in *Monte Sinaí* support this observation. For instance, the relationship between the labor force and household size had a significant impact on the increasing energy demand in this area due to the artisanal economic activities within households.

Considering electricity consumption analysis since 2018, and a normal distribution of energy indicators by zone, *Vergeles* (zone 8) and *Monte Sinaí* (zone 7) present an average monthly consumption of 212 ± 119Kw/h and 158 ± 132Kw/h respectively. If we compare these values with the average consumption in Ecuador: 138 kw/h (I. N. Census 2012), both regions are showing an excess in consumption. However, "high" consumption is a necessary but not enough condition to diagnose energy inefficiency (Pedro Hancevic 2015), at least based on the selected descriptors. Notice that for the period studied, *Vergeles* shows less standard deviation than *Monte Sinai* (zone 7) resulting in a poor valued zone.

Notice that since 2017, zone 7 has been increasing the number of connected users, therefore, the incentive to adapt their private decisions about consumption did not exist, while the zone 8 is older having official connection from the beginning, with a traditional awareness about energy costs and the incidence of externalities such as the subsidized energy prices by the government.

In this way, any conventional socio-economic analysis can be complemented. Although the uncertainty in the data does not allow obtaining the best ordering, the fuzzy algorithm does allow to obtain an optimal order based on the study of the appropriate threshold.

The algorithm implemented allows a simple way to process poorly structured data in areas that are constantly expanding and difficult to access or where reliable measurements are not available from a statistical point of view.

References

Aliaga Benavides, A. A., Santana Pacheco, Y., Mustelier hechavarría, A., & Guzmán Bazán , Y. (2017). Computer algorithm for comparing and ordering models based on indicators and user values. *Revista Facultad de Ingeniería*, 26(46), 61-69. doi: http://doi.org/10.19053/01211129.v26.n46.2017.7318

Arconel. (2017). *Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano* [Internet]. Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Quito: Arconel. Retrieved from https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/10/estadistica%20reducida.pdf

Arconel. (2019). *Balance Nacional de Energía Eléctrica* [Internet]. Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. Quito: Arconel. Retrieved from https://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/

Armario, E. M. (1982). La teoría de los conjuntos borrosos y la toma de decisiones. *Revista Española de Financiación y Contabilidad, XI*(38 y 39), 405-430.

Çağman, N., & Enginoğlu, S. (2010). Soft matrix theory and its decision making. *Computers & Mathematics with Applications, 59*(10), 3308-3314.

Carolina Grottera, C. B.-P.-M. (2018). Linking electricity consumption of home appliances and standard of living: A comparison between Brazilian and French households. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94*, 877–888.

Censos, I. N. (2010). *Censo de población y vivienda* [Internet]. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Inforgrafias-INEC/2012/asi_esGuayaquil_cifra_a_cifra.pdf

Conelec. (2017). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022* [Internet]. Quito: Conelec. Retrieved from https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol2-Estudio-y-gesti%C3%B3n-de-la-demanda-el%C3%A9ctrica.pdf

Cosmo, V. D., & O'Hora, D. (2017). Nudging electricity consumption using TOU pricing and feedback: evidence from Irish households. *Journal of Economic Psychology*, 1-14.

El Comercio. (2011). *Eléctrica de Guayaquil aumenta su inversión* [Internet]. Retrieved from https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/electrica-de-guayaquil-aumenta-inversion.html

García, R. R. (2015). *Meta-algoritmos de ordenación*. (Doctoral thesis in Informatics), Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática, Universidad de León, España. Retrieved from https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/5444/Tesis%20de%20Rodrigo%20Raposo.PDF?sequence=1

Gil-Aluja, J. (1999). *Elements for a Theory of Decision in Uncertainty*. In P. M. Pardalos, & D. Heam. *Applied Optimization*. US: Springer.

Gil-Aluja, J. (2001). Entre la epistemología y la lógica. Decisión y algoritmo de ordenación. *Cuad. Gestión, 1*(1), 151-159.

González, F. A. (2004). Teoría de la decisión e incertidumbre: modelos normativos y descriptivos. *Empiria*(8), 139-160. Retrieved from http://revistas.uned.es/index.php/empiria/article/view/982

Hidalgo, J., Coello, S., & Gonzalez, Y. (2018). The Determinants of Household Electricity Demand in Marginal Ecuador: A Case Study at Monte Sinai. *The 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion"* (pp. 1-6). Lima: LACCEI.

INEC. (2010). *Evolución de las variables investigadas en los censos de población y vivienda del Ecuador 1950, 1962, 1974, 1982, 1990, 2001 y 2010*. Quito: Dirección de estadísticas sociodemográficas. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Publicaciones/Evolucion_variables_1950_2010_24_04_2014.pdf

Maluf, L., Rumenos, M., & Bacchi, P. (2019). Assessing the impact of Brazilian economic growth on demand for electricity. *Energy*, 172, 861-873.

Niu, S., Jia, Y., Ye, L., Dai, R., & Li, N. (2016). Surbvey data on household electricity consumption and living status in Northwestern China. *Data in Brief, 7*, 1106-1111.

O'Driscoll, B., Watson, C., Sliney, A., Boyle, G., & Luddy, C. M. (2016). *United States Patente nº US 2016/0292272 A1* .

Páez, D., & Ayestarán, S. (1987). Representaciones sociales y estereotipos grupales. In D. P. (Ed), *Pensamiento, individuo y sociedad. Cognición y representación social* (pp. 262). Madrid: Editorial Fundamentos.

Sanjinés, G. (2011). Análisis y pronóstico de la demanda de potencia eléctrica en Bolivia: una aplicación de redes neuronales. *LAJED*(15), 45-77.

Senplades. (2015). *Privincias Guayaquil, Samborondón y Duran 2013-2017*. Quito: Secretaria de Planificación y Desarrollo. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Agenda-zona-8.pdf

Taiki, N., Aoi, H., & Makoto, O. (2017). Proposal of an efficient rank-ordering method based on subjectivity. *Communication papers of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (pp. 4). Prague: Polish Information Processing Society. Retrieved from https://annals-csis.org/Volume_11/

Villacís, B., & Carrillo, D. (2012). País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador [Internet]. *Analitika*, 89. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Libros/Economia/Nuevacarademograficadeecuador.pdf

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 12/06/2019
Aceitação/Acceptance: 28/09/2019

Dispositivos Wereables y su Contribución al Monitoreo de Sistemas Industriales

Rommel Velastegui[1], Nancy Rodríguez[2], Giovanni Hidalgo[3], John Reyes[1]

rs.velastegui@uta.edu.ec, nprodriguez@institutos.gob.ec, hidalgocastro.giovannijavier @gmail.com, johnpreyes@uta.edu.ec

[1] Universidad Técnica de Ambato, 180207, Ambato, Ecuador

[2] Instituto Superior Tecnológico Guayaquil, 180203, Ambato, Ecuador

[3] Compañía Agroindustrial Agrocueros S.A., Ambato, Ecuador

Pages: 458–468

Resumen: Este trabajo presenta el estudio, diseño, desarrollo e implementación de un sistema de comunicación en tiempo real que permite monitorear las variables críticas de un proceso industrial, además de ofrecer una alternativa fácil para aplicaciones que pueden llevarse a cabo a gran escala a nivel industrial, a través de la comunicación de una red Ethernet y un dispositivo vestible. El objetivo principal es el monitoreo de procesos, verificando la optimización de tiempos improductivos como una prueba de funcionabilidad del sistema. Se ha desarrollado el índex HTML para obtener el acceso a los datos del PLC y se ha configurado el código Java para tener acceso la consulta web con Android Studio, se establece la conexión en tiempo real con el PLC y el dispositivo vestible smartwatch. La parte medular del sistema depende de la introducción de la lógica de control directamente dentro del sistema de automatización por medio del APK.

Palabras-clave: dispositivo vestible; APK; sistema de monitoreo

Wereables Devices and their Contribution to the Monitoring of Industrial Systems

Abstract: *This paper presents the study, design, development and implementation* of a system of real-time communication that allows monitoring the critical variables of an industrial process in order to determine the incidence of this system in reducing downtime caused by management not timely alarm, as well as offering an easy alternative for applications that can be carried out large-scale industrial level, communication via an Ethernet network and a wearable device. The main objective is process monitoring, verifying optimization downtime as a test system functionality. Has developed the index HTML for access to PLC data and is configured Java code to access the web consultation with Android Studio, real-time connection with the PLC and Wereable device, smartwatch, is established. The core of the system depends on the introduction of the control logic directly in the automation system through the wearable device APK.

Keywords: Wearable device; APK; monitoring system

1. Introducción

La conexión a las redes de información de todos los tipos de dispositivos puede permitir una multitud de aplicaciones dependiendo del sector donde se aplican estas tecnologías. Los avances tecnológicos y las nuevas tecnologías están siendo aplicadas a la industria, se comienza a hablar sobre la industria 4.0 o las fábricas 4.0. Recientemente, podemos encontrar en la literatura sobre IoT mucha teoría y tecnología, especialmente en sectores como logística y transporte, pero no hay muchos artículos en entornos de fabricación que expliquen situaciones reales y concretas debido a la confidencialidad de sus operaciones y la competitividad del mercado (Cañizares & Valero, 2018). En la actualidad la digitalización es la nueva tendencia industrial correspondiente a la Industria 4.0 dentro del Internet de las Cosas (Siemens, s. f.). En los últimos años, ha habido un cambio tecnológico cada vez mayor hacia una red descentralizada de objetos interconectados, todos equipados con capacidades de toma de decisiones y recopilación de datos "inteligentes" (Li & Kara, 2017).

Hoy por hoy se está implementando con más fuerza la digitalización en las industrias fabriles alrededor del mundo para la reducción de costos de manufactura a través de la disminución de tiempos improductivos presentes en los procesos industriales. A lo largo del tiempo se han desarrollado diversas aplicaciones móviles para dispositivos wereables siendo principalmente utilizadas para mejorar el estilo de vida del usuario final, (Pobes Panisello, 2019) aplicativos de salud (Melo, 2016), (computerhoy, s. f.), recordatorios y tareas diarias hacen más fácil la administración de los recursos y tiempo de las personas (Pernek, Kurillo, Stiglic, & Bajcsy, 2015), e incluso capaces de brindar seguridad de control de acceso (Prado, 2017), siendo interactivo y de fácil manejo hasta para personas mayores, brindándoles apoyo en diferentes ámbitos (Rosales, Fernández-Ardèvol, Comunello, Mulargia, & Ferran-Ferrer, 2017), y algo esencial en precautelar la vida humana en el campo de la industria minera, del cual existe estudios de su alcance futuro (Mardonova, Choi, Mardonova, & Choi, 2018) (Verma, Rajhans, Malik, & des Tombe, 2014).

Una de las principales tendencias de la automatización y control de los procesos se basa en tecnologías aplicadas al internet de las cosas IoT, que permite la conectividad a todo nivel dentro de la industria. Es así que el control de las operaciones en las industrias de procesos y fabricación irán adaptándose a estas tendencias ya que una de las bondades del internet de las cosas es que permite mejor conectividad y disponibilidad de la información de una forma eficaz y rápida, por lo tanto se pueden diseñar sistemas más complejos para una mejor toma de decisiones (Harjunkoski, 2017).

Sin embargo los aplicativos wereables para la industria hoy en día, aún están en etapa de desarrollo (Aleksy & Rissanen, 2014), donde se cuenta con potentes dispositivos wereables (Digital e Innova, 2017), (Luque, 2016) que pueden operar como interfaz hombre máquina con lenguajes sistemas de compilación basados en JVM (Java Virtual Machine), donde se puede escribir de manera nativa un script en java de código abierto (Android Studio, s. f.). Utilizando las bondades que un entorno de desarrollo integrado (IDE) para el desarrollo de aplicaciones para Android basados en IntelliJ IDEA (Android Studio, s. f.). Se establece el intercambio de datos en tiempo real entre una Wereable APK y el Controlador Lógico Programable PLC permitiendo el monitoreo de variables industriales de alto nivel.

Por lo tanto, este artículo presenta el diseño de una aplicación para dispositivos wereables que permite la interacción del operador y el sistema PLC operando como HMI wereable, aplicada a soluciones dentro de la industria 4.0.

2. Desarrollo

2.1. Requerimientos principales

Wereable APK representa una aplicación puesta a prueba dirigida a acceder al control de las acciones de un sistema PLC y su monitoreo.

Acorde al entorno donde se valida mediante implementación del desarrollo se establecen los requerimientos o funcionalidades básicas esperadas que definen el alcance general de Wereable APK incluyen las siguientes:

- Evaluación y Control a Distancia
- Monitoreo del funcionamiento del sistema de automatizado
- Control de las variables de entrada y salida del controlador lógico programable

Acceso al control a través de varios dispositivos wereables inteligentes autorizados.

2.2. Arquitectura del sistema

Un PLC con interfaz Ethernet brinda la posibilidad de acceder a variables de CPU (Ag, 2014) con la ayuda de la aplicación Wereable APK.

Se puede acceder a los mecanismos estándar del PLC mediante la configuración de la Red Ethernet como web server dentro de la página web del controlador, como identificación, búfer de diagnóstico, estado del módulo, comunicación, estado de variables y registros de datos, y se puede diseñar y llamar a páginas web individuales para el control y monitoreo de una tarea de automatización.

Se ha desarrollado el índex HTML para obtener el acceso a los datos del PLC y configurado el código java para tener acceso la consulta web con Android Studio bajo el código de la Figura 1.

A través de lo mencionado se establece la conexión en tiempo real la con el PLC y el dispositivo Wereable.

```
Protected void Wereable_APK(Bundle savedInstanceState) {
     super.onCreate (savedInstanceState);
     setContentView(R.layout.sample_main);
     mDataText=(TextView) findViewById(R.id.data_text);
     mNetworkFragment = NetworkFragment.getInstance
               (getSupportFragmentManager(), "https://192.168.10.1/awp/Wereable_APK.html");
}
```

Figura 1 – Fragmento del código de programación

La parte medular del sistema depende de la introducción de la lógica de control directamente dentro del sistema de automatización por medio del APK con Network Fragmenty el PLC mediante un servidor web.

Para esto se vinculó la lógica virtual y la lógica real del sistema, para lo cual dentro del OB principal de la CPU, se enlazaron las variables utilizadas dentro de la librería Global del CPU con las utilizadas en el código HTML.

2.3. Gestión de variables

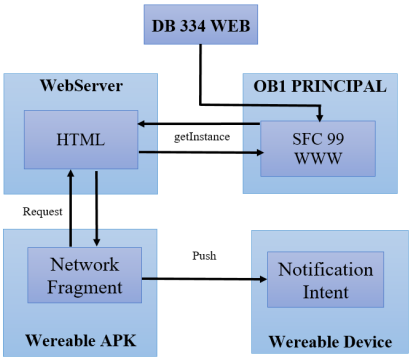


Figura 2 – Arquitectura del sistema

Se establecieron variables definidas por el usuario, estas variables son las que se enlazan con la programación instituida en el diagrama de contactos del PLC. Se ha llamado la lógica virtual del PLC contenido en del código HTML a través de un enlace tipo Request.Index. HTML Para el intercambio de datos. Para esto se definió un bloque de instrucción que inicializa el web server del CPU y enlaza la comunicación entre las variables del controlador y las del código HTML. La Figura 2 da una vista completa de la arquitectura del sistema aplicada como solución de implementación, la cual se detalla sus acciones a continuación.

Dentro de la configuración de la CPU del PLC son establecidas las parametrizaciones Ethernet con su dirección IP y las propiedades de servidor web del dispositivo, integrando de esta manera el directorio HTML de la página web definida para funciones de control con el PLC.

HTTP Request HEADER	Value
Accept	= text/html,application/xhtml,xhtml xml, */*’
Accept-Encoding	= APK’,*/*’
Accept-Language	= Grandle’, InteligentID’, */*’
Connection	= Keep-Alive, Real_Time’, */*’
Cookie	= siemens_ad_session006TGJKK3343267sdf==’
Host	= 192.168.10.1
Referer	= https://192.168.10.1/awp/Wereable_APK.html’
User_Agent	= Android 24.0’

Tabla 1 – Protocolo de transferencia de hipertexto

Estas parametrizaciones HTML (ver Tabla 1) componen la página web que se mostrará como base de información wereable App, esto permite utilizar varias veces las variables configuradas para todos los dispositivos inteligentes incluso las variables asociadas con el código HTML.

A. Variables de Control de Proceso

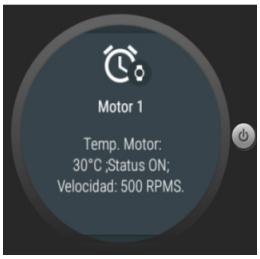


Figura 3 – Visualización de variable en proceso

Para el caso de aplicación, dentro del proceso de dosificado de polvo, las principales variables del proceso se representan en el dispositivo Wereable en tiempo real, permitiendo conocer su valor de estado en el dispositivo portable. La Figura 3 muestra la visualización de una variable en el dispositivo

B. Variables de Puesta en Marcha y Calibración

Las variables de puesta en marcha y calibración definidas para la aplicación Android se entiende como una página web con una sintaxis de comando adicional (comandos AWP) que se puede usar para acceder a un PLC con interfaz Ethernet para la calibración del controlador desde el dispositivo portable.

Los parámetros de funcionamiento del proceso tanto los establecidos como los reales se muestran Fig.4

Figura 4 – Puesta en marcha y calibración.

C. Notificación Eventos y Alarmas.

Los procesos industriales farmacéuticos que demandan altos estándares de esterilidad e inocuidad en sus operaciones conocer de una manera rápida y eficaz donde está localizada la falla a través de notificaciones y alarmas permiten actuar dentro de las condiciones de las variables de proceso críticas a controlar para que de esta forma se pueda actuar directamente en la causa raíz de la avería. Las notificaciones de alarmas son de prioridad dentro de un proceso para la reducción de tiempo, estas señales llegan al dispositivo wereable Fig. 5

Figura 5 – Notificación de alarma.

Seguridad o confiabilidad de un sistema es la característica propia de estar libre de las condiciones que puedan causar muerte, daños, o pérdida del equipo o de la propiedad o daños al medio ambiente.

El objetivo de la confiabilidad o seguridad de funcionamiento es proporcionar un producto que cumpla con las necesidades finales del usuario, a un bajo coste y en el tiempo límite prefijado. O bien, se considera seguridad de funcionamiento como las características propias que le permite comportamientos funcionales especificados en un tiempo determinado, con una duración establecida y sin daños a sí mismo o al ambiente. Tratamos de acciones realizadas sin malicia y significa que está libre de las condiciones que pueden causar accidentes.

Hay una relación directa entre fiabilidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y la seguridad de funcionamiento. Aumentando la capacidad de mantenimiento y la fiabilidad se consigue incrementar la disponibilidad y la seguridad de funcionamiento [4].

3. Resultados

La realización de estas pruebas permitió validar y realizar varios ajustes con respecto a la funcionalidad del sistema implementado, realizando una prueba de la aplicación en el proceso de dosificado de productos inyectables estériles de una industria farmacéutica, donde el operador responsable de la calibración y puesta en marcha del sistema automatizado no se encuentra de manera permanente en el área estéril, debido a que se debe conservar criterios de buenas prácticas de manufactura y mantener la calidad del aire y flujo laminar dentro del área productiva. De suscitarse una falla el operador

debe actuar de manera oportuna para evitar tiempos muertos en la operación, la Figura 6 muestra la ruta que normalmente realiza el operador, para el ingreso al área estéril después de cumplir los protocolos de sanidad requeridos.

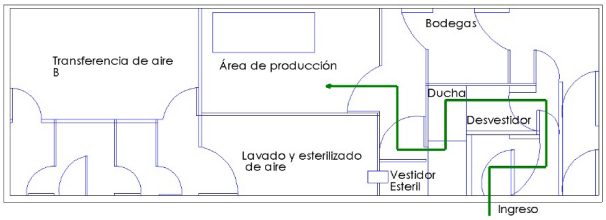


Figura 6 – Ruta de ingreso al área estéril

Para este caso de estudio se diseñó una aplicación para dispositivos wareables que permite la interacción del operador y el sistema PLC operando como HMI wereable. En este estudio el dispositivo wereable con el que el operador interactúa y controla de manera remota que acciones debe llevar a cabo el PLC, mediante la app.

Por medio de un dispositivo wereable con sistema operativo Android, en donde se implementó una aplicación que recibe las órdenes de control del operador y las envía al sistema de PLC mediante la conexión Ethernet.

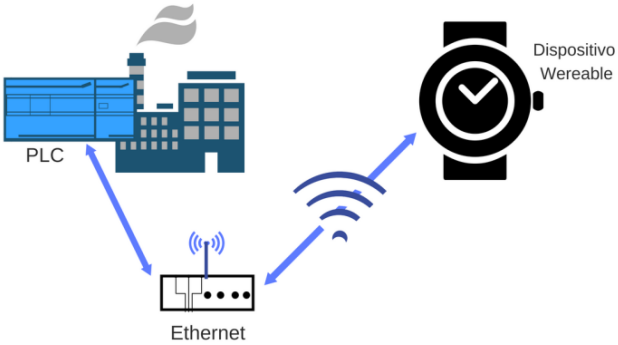


Figura 7 – Esquema de flujo

Figura 7 Esquema de flujo de la app que permite monitorear y gobernar el estado de las variables del programador en donde se pueden supervisar cualquier bit, byte o palabra deseada sean analógicos o digitales dentro de la app. Así se pueden controlar todos los diagnósticos del PLC directamente en la App con un punto de acceso inalámbrico para cualquier dispositivo móvil.

Para este caso se encuentra viable el proyecto mediante el uso de toda la infraestructura de red de una planta sin componentes de hardware adicionales. Es decir, cada lugar de

la planta donde se proporciona un acceso a la red, puede acceder a los controladores respectivos del sistema PLC.

Mediante la utilización del sistema de notificación mediante el uso de un dispositivo HMI vestible, se pudo conocer el estado del sistema en tiempo real de forma remota a través de la Wereable APK, permitiendo al operador reducir el tiempo de evaluación y puesta en marcha del equipo al suscitarse una falla dentro del sistema de automatizado como se muestra en la siguiente figura comparativa donde se pude observar la reducción de tiempo improductivo del proceso de dosificado Figura 8 , se tiene:

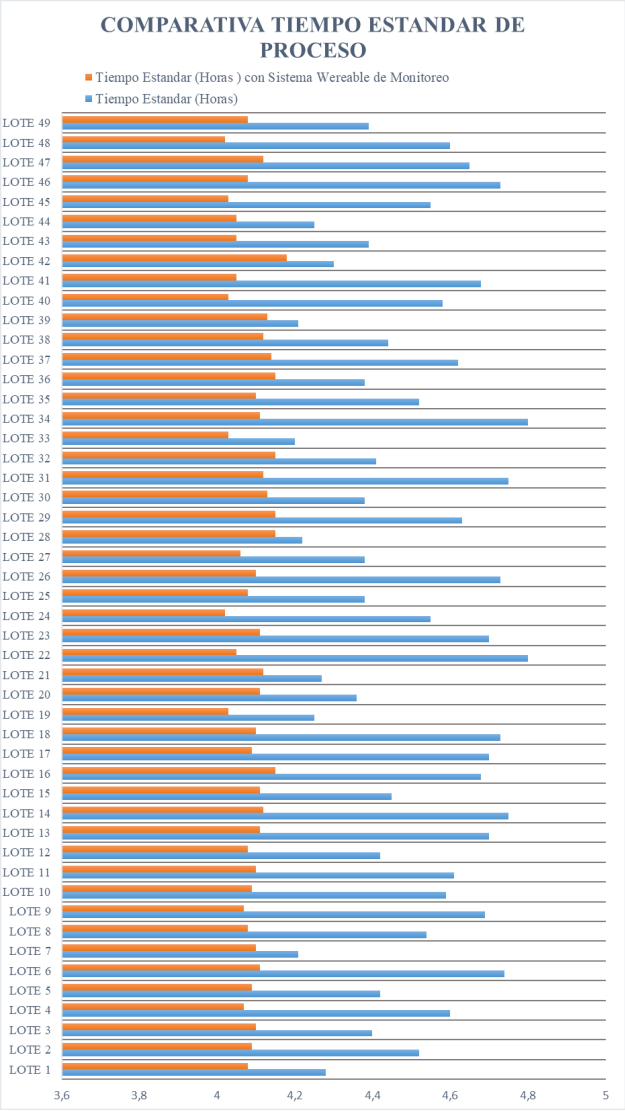


Figura 8 – Datos adquiridos

La gestión por monitoreo mediante dispositivos wareables incide en la disminución de tiempos improductivos del 9,3%, que implica una reducción por gestión oportuna de mantenimiento en el caso de estudio de aplicación en una planta farmacéutica en el proceso de dosificado en una zona estéril que opera de manera autónoma, pero requiere de monitoreo.

Las aplicaciones web integradas han logrado en el caso de estudio reducir 0,42 horas por lote de producción, brindando la capacidad de la evaluación, el diagnóstico y el control de los controladores a grandes distancias o dispositivos portátiles con tecnología Android.

4. Conclusiones

En los últimos tiempos, la aparición de dispositivos electrónicos móviles capaces de manejar lenguajes HTML juntamente con la integración de tecnologías de automatización y control de los procesos ha dado lugar a un mayor desarrollo del campo industrial farmacéutico en monitoreo y operación de sus procesos.

Mediante la inclusión de tecnología de la industria 4.0 se ha realizado el control y monitoreo de un sistema PLC mediante una aplicación desarrollada para sistema operativo Android, obteniendo respuestas y un adecuado funcionamiento del sistema. Se ha podido obtener la respuesta del sistema en su monitoreo.

Como estudios futuros se puede desarrollar aplicaciones para los diferentes sistemas operativos de teléfonos inteligentes, para ampliar la cobertura de la aplicación para iOS. Además, se ha planteado la extensión a la gestión y control de procesos de control finito en piso para plantas industriales con el propósito de que mediante la app se pueda monitorear el avance de las órdenes de producción y gestionar en la planta industrial en tiempo real.

Se puede también extender la aplicación para control y monitoreo de una planta de producción que permita alertar problemas en un proceso de producción y darle gestión oportuna aplicando criterios de Lean Manufacturing (Feld, 2000).

Otro campo aplicable es el estudio de gestión de reportes para procesos que se adapten al tiempo de respuesta que permite una comunicación a través de Ethernet.

El valor de fiabilidad es inferior al ideal, pero lo consideramos un buen valor, sabiendo que las bombas centrífugas donde se encuentran este tipo de rodamientos acostumbran a trabajar 24 horas al día durante casi todo el año.

La curva de bañera del componente rodamiento de la bomba centrífuga marca una clara tendencia de bañera, permitiendo indicar que en los períodos posteriores se evidenciará una curva de bañera completa.

La frecuente falla de los rodamientos de la bomba centrifuga de eje horizontal se debe a la falta de un mantenimiento programado, los administradores del sistema de enfriamiento esperan a que se produzca el fallo para realizar la reparación produciendo varios paros de la unidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo brindado para la ejecución exitosa de este trabajo a través del proyecto de investigación titulado "Optimización operacional basada en un sistema dinámico esbelto de alerta de fallas en los procesos de producción para las industrias de calzado", código PFISEI18.

Referencias

Ag, S. (2014). *Servidor web S7-1500 Servidor web*. 1-94.

Aleksy, M., & Rissanen, M. J. (2014). Utilizing wearable computing in industrial service applications. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *5*(4), 443-454. https://doi.org/10.1007/s12652-012-0114-2

Android Studio. (s. f.). *Conoce Android Studio | Android Developers* [Internet]. Recuperado de https://developer.android.com/studio/intro/?hl=es-419

Cañizares, E., & Valero, F. A. (2018). Analyzing the effects of applying IoT to a metal-mechanical company. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *11*(2), 308-317. https://doi.org/10.3926/jiem.2526

Computerhoy. (s. f.). *Diseñan un dispositivo wearable que predice los ataques de asma* [Internet]. Recuperado de https://computerhoy.com/noticias/life/disenan-dispositivo-wearable-que-predice-ataques-asma-45934

Digital e Innova. (2017). *Ejemplos de dispositivos "wearables"* [Internet]. Recuperado de https://digitaleinnova.wordpress.com/2017/07/09/ejemplos-de-dispositivos-wearables/

Feld, W. (2000). Lean Manufacturing. *Resource Management*, *20*. https://doi.org/10.1201/9781420025538

Harjunkoski, I. (2017). Future of control and operations in the era of industrial internet of things. *Computer Aided Chemical Engineering*, 40. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63965-3.50381-0

Li, W., & Kara, S. (2017). Methodology for Monitoring Manufacturing Environment by Using Wireless Sensor Networks (WSN) and the Internet of Things (IoT). *Procedia CIRP*, *61*, 323-328. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.182

Luque, J. (2016). Dispositivos y tecnologías wearables. *Acta*, 18.

Mardonova, M., Choi, Y., Mardonova, M., & Choi, Y. (2018). Review of Wearable Device Technology and Its Applications to the Mining Industry. *Energies*, *11*(3), 547. https://doi.org/10.3390/en11030547

Melo, Y. (2016). *Métricas de rendimiento aeróbico*. Universidad Politécnica de Catalunya.

Pernek, I., Kurillo, G., Stiglic, G., & Bajcsy, R. (2015). Recognizing the intensity of strength training exercises with wearable sensors. *Journal of Biomedical Informatics*, *58*, 145-155. https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.09.020

Pobes Panisello, A. (2019). *Wearable system for the monitoring of physical activity* [Internet]. Recuperado de https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88644?show=full

Prado, E. (2017). *Sistema de gestión y control de acceso basado en IOT y smartphones* (Trabajo Final de Grado), Facultad de Escola Tècnica d ' Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.

Rosales, A., Fernández-Ardèvol, M., Comunello, F., Mulargia, S., & Ferran-Ferrer, N. (2017). Older people and smartwatches, initial experiences. *El Profesional de la Información*, *26*(3), 457. https://doi.org/10.3145/epi.2017.may.12

Siemens. (s. f.). *El Futuro de la Industria 4.0 - El Futuro de la Industria - Siemens* [Internet]. Recuperado de https://w5.siemens.com/spain/web/es/el-futuro-de-la-industria/pages/el_futuro_de_la_industria.aspx

Verma, D. K., Rajhans, G. S., Malik, O. P., & des Tombe, K. (2014). Respirable Dust and Respirable Silica Exposure in Ontario Gold Mines. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *11*(2), 111-116. https://doi.org/10.1080/15459624.2013.843784.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 09/05/2019
Aceitação/Acceptance: 17/07/2019

La cooperación Universidad - Empresa y su influencia sobre el desempeño innovador empresarial de la industria manufacturera en Perú

Pablo Gutiérrez Falcón[1,2], Luis Benavente Villena[1,3], Luiggi Cruz Caldas[1]

pcgutierrezf@gmail.com, luiscbenaventevillena@yahoo.es, LuiggiLAR2018@gmail.com

[1] Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Calle Germán Amézaga 375 – Ciudad Universitaria, CP 15081, Lima, Perú.

[2] Universidad Tecnológica del Perú, Calle Natalio Sanchez 125, CP 15046, Lima, Perú.

[3] Universidad César Vallejo, Av. Alfredo Mendiola 6232, CP 15314, Lima, Perú.

Pages: 469–480

Resumen: La presente investigación busca demostrar la influencia de la cooperación universidad – empresa sobre el desempeño innovador empresarial de la industria manufacturera en Perú durante el periodo 2012 - 2014. En general, se comprueba, por medio de regresión logística binaria, que no se encuentra influencia significativa de la cooperación universidad-empresa sobre la mejora en el desempeño innovador empresarial; en lo particular, se comprueba la significancia del tamaño de las empresas y de sus altos gastos en investigación y desarrollo en la generación de una mayor probabilidad de establecer cooperación con la universidad.

Palabras-clave: Innovación; Cooperación Universidad - Empresa; Industria Manufacturera; Regresión Logística.

Cooperation between University-Enterprises and its influence on the innovative business performance of the manufacturing industry in Peru

Abstract: The present research seeks to demonstrate the influence of cooperation between university-enterprises on the innovative business performance of the manufacturing industry in Peru during the period 2012 - 2014. In general, it is verified, by means of binary logistic regression, that no significant influence is found of cooperation between university-enterprises on the improvement of innovative business performance; in particular, the significance of the size of the companies and their high expenditures in research and development is verified in generating a greater probability of establishing cooperation with the university.

Keywords: Innovation; University - Enterprises Cooperation; Manufacturing Industry; Logistic Regression.

1. Introducción

Se mejora el desempeño innovador con la cooperación universidad - empresa dado que el conocimiento generado en la universidad contribuye al proceso de innovación de las empresas (Álvarez, 2013; Arias et al., 2012), cooperación que, en países desarrollados (Aristei et al., 2016; Bruneela et al., 2010; Chang et al., 2010) demuestra que la universidad, como fuente de información, tiene un efecto positivo en el desempeño innovador incrementando las cifras de negocio (Molina et al., 2011). En complemento a lo mencionado, García (2013) encontró que las empresas que usan a la Universidad como fuente de información obtienen un alto desempeño innovador. Adicionalmente, la colaboración universidad - empresa financiada con fondos públicos presenta un impacto positivo sobre el esfuerzo de innovación de las empresas (Scandura, 2016), además se enfatiza el modelo de tres competentes (universidad, gobierno y empresa) que deben trabajar mutuamente para lograr una colaboración exitosa entre universidad – empresa (Salleh & Omar, 2013).

La teoría de la cooperación universidad - empresa (Álvarez, 2013; Arias et al., 2012) señala que los conocimientos generados en la universidad son transferidos a las empresas y contribuyen a distintos tipos de innovación y competitividad y que sirve de medio a las empresas avanzar conjuntamente ante el desafío al que se enfrentan y, además, alcanzar niveles superiores de conocimiento (Chang, 2010; Rõigas et al., 2014).

La importancia de la cooperación universidad - empresa ha motivado la investigación sobre las variables que permiten a explicar esta relación de cooperación (Ankrah & Al-Tabbaa, 2015; Aristei et al., 2016) a cuyo respecto, Veugelers & Cassiman (2005) propusieron un modelo que identifica diversas variables de control como son el tamaño de la empresa, gastos I&D, si la empresa es local o pertenece a un grupo extranjero y la antigüedad de la empresa; llegándose a concluir que las empresas grandes y más antiguas son las más propensas a colaborar y que la cooperación con las universidades es complementaria a otras actividades de innovación como desarrollar su propio I&D, acceder a información externa y cooperar con otros actores del mercado (Laursen & Salter, 2004; Veugelers & Cassiman, 2005).

En países emergentes no existe suficiente evidencia empírica para demostrar que la cooperación universidad - empresa mejora el desempeño innovador (García et al., 2014). Así como tampoco existe suficiente evidencia empírica para demostrar que los factores determinantes que se han identificado en las empresas locales sean factores clave en la cooperación universidad - empresa en los países emergentes (García, 2013). Sobre el particular Zanello et al., (2016) mencionaron que en los países en desarrollo existen barreras para la creación y difusión de las innovaciones como un sistema político débil, características económicas, factores institucionales y factores internos de la empresa, llevando a las empresas a usar menos fuentes externas de información, a ser menos propensas a desarrollar I&D y más propensas a comprar tecnologías.

Por otro lado, en las industrias emergentes, el rol de los estudiantes universitarios y de los empleados de las empresas es crucial para mediar entre las organizaciones públicas de investigación y las empresas; además, las redes de conocimiento están poco desarrolladas en las industrias emergentes, y el apoyo público para proyectos de investigación está disperso (Bodas, Argou & Mirra de Paula, 2013).

Como resultado de lo mencionado, en los últimos años la comunidad científica ha orientado su interés en la cooperación universidad - empresa, dada su pertinencia y vigencia para el desarrollo de las ciencias empresariales (Bruneel et al., 2010; Chang, 2010; García J., 2013). Sin embargo, la literatura muestra un vacío sobre si la cooperación universidad - empresa mejora el desempeño innovador y efectivamente induce a las empresas a desarrollar actividades de innovación. Por una parte, según Zelaya (2010), la universidad actual está en la obligación de convertirse en pilar activo de los nuevos proyectos de innovación que se dan en el entorno empresarial para buscar soluciones, diseñar modelos y estrategias aplicables a la realidad. Por otra parte, porque las empresas que utilizan estrategias abiertas de búsqueda de información dependen del tamaño y antigüedad como factores determinantes de esta cooperación (Álvarez, 2013). Según Maietta (2015), la difusión de conocimientos de las universidades locales puede ser importante porque una empresa dentro de un radio de 150 km de una universidad tiene una mayor probabilidad de innovación de productos que una empresa más distante. En consecuencia, sobre la base conceptual descrita, el presente trabajo busca determinar los factores de cooperación universidad – empresa y su efecto sobre el desempeño innovador empresarial del sector manufactura en Perú durante el periodo 2012 - 2014.

2. Metodología

Para esta investigación se ha adoptado un enfoque cuantitativo (Gujarati, 2010; Wooldridge, 2010), donde se examina la relación entre la cooperación universidad - empresa y el desempeño innovador empresarial de la industria manufacturera en Perú durante el periodo 2012 – 2014 contemplando un alcance de carácter explicativo y de corte transversal mediante el uso de los datos de la Encuesta Nacional de Innovación en la Industria Manufacturera 2015, realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI, 2015).

La Encuesta Nacional de Innovación en la Industria Manufacturera 2015, autorizada mediante la Resolución Jefatural N° 58-2015-INEI, recopila la información de las empresas que desarrollan actividad manufacturera en los 24 departamentos del Perú y la Provincia Constitucional del Callao, teniendo como fuente el Directorio Central de Empresas y Establecimientos, el cual es actualizado con información del Padrón de Contribuyentes de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria - SUNAT y de las operaciones estadísticas que ejecuta el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017). El tamaño de la muestra de las empresas manufactureras (Tabla 1) se obtuvo de:

- Marco total: 161 887 empresas.
- Marco de empresas manufactureras con ventas anuales superiores a 150 UIT: 9 056 empresas.
- Muestra: 2 353 empresas.
- Sub-Muestra: 1 684 empresas.

El método para la recolección fue la entrevista directa, este consiste en la aplicación de un cuestionario electrónico desarrollado, a partir de las recomendaciones establecidas en el Manual de Bogotá (Jaramillo et al., 2000), incorporándose preguntas sobre el tema innovación en la industria manufacturera.

Actividad Económica		Porcentaje
10	Elaboración de productos alimenticios	17.1
11	Elaboración de bebidas	1.0
13	Fabricación de productos textiles	7.0
14	Fabricación de prendas de vestir	13.4
15	Fabricación de productos de cuero y productos conexos	3.6
16	Producción de madera y productos de madera y corcho	3.8
17	Fabricación de papel y de productos de papel	1.4
18	Impresión y reproducción de grabaciones	6.4
19	Fabricación de productos de la refinación del petróleo	0.2
20	Fabricación de sustancias y productos químicos	4.5
21	Fabricación de productos farmacéuticos y medicinales	1.0
22	Fabricación de productos de caucho y de plástico	6.2
23	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	3.2
24	Fabricación de metales comunes	1.3
25	Fabricación de productos elaborados de metal	13.4
26	Fabricación de productos de informática, de electrónica y de óptica	0.3
27	Fabricación de equipo eléctrico	1.7
28	Fabricación de maquinaria y equipo	3.4
29	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	2.3
30	Fabricación de otro equipo de transporte	0.4
31	Fabricación de muebles	4.4
32	Otras industrias manufactureras	2.2
33	Reparación e instalación de maquinaria y equipo	1.9

Tabla 1 – Estructura porcentual de Empresas de la Industria Manufacturera, según Actividad Económica, 2012-2014

2.1. Hipótesis.

Para la presente investigación se plantearon las siguientes hipótesis:

- H1: La cooperación universidades - empresas influye positivamente en el desempeño innovador de la empresa.
- H2: Mientras mayor sea el tamaño de la empresa mayor es la posibilidad de establecer cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación.
- H3: Las empresas con altos gastos en investigación y desarrollo tendrán una mayor posibilidad de establecer acuerdos de cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación.

2.2. Definición de variables

Para la verificación de la hipótesis H1, a partir de la definición de la relación universidad – empresa planteada por Velez, Afcha y Bustamante (2019), se establecieron las siguientes variables:

Nombre	Descripción	Composición	Tipo
Desempeño Innovador	La empresa logró introducir al mercado un Bien / Servicio nuevo	1: Si ha innovado 0: No ha innovado	Binomial
Cooperación Universidad – Empresa	Vinculación con Universidades.	1: Si existe cooperación 0: No existe cooperación	Binomial
Tamaño de la Empresa	Promedio del total de personal ocupado[1]	1. Micro 2. Pequeña 3. Mediana 4. Grande	Ordinal
Gasto I&D	Incluye los gastos por: - Actividades de I&D (interna y externo) - Adquisición de bienes de capital, hardware y software. - Transferencia de tecnología - Diseño e ingeniería industrial - Capacitación en actividades de innovación - Estudios de mercado para introducción de innovaciones	Promedio gastos I + D / Promedio Total Ventas	Continuo
Empresa local	Participación de capital extranjero	1: Empresa local 0: Empresa extranjera	Binomial
Antigüedad de la empresa	Según el año de inicio de operaciones de la empresa	1: Antigua (> 10 años) 0: Nueva (<= 10 años)	Binomial

Tabla 2 – Composición de Variables

La variable dependiente "Desempeño Innovador" se definió considerando la pregunta: ¿Qué importancia tuvo la cooperación de universidades para las actividades de innovación de la empresa? (Velez, Afcha & Bustamante, 2019). La relación entre las variables se expresa en la fórmula (1):

$$Y_i = \beta 0 + \beta 1X1 + \beta 2X2 + \beta 3X3 + \beta 4X4 + \beta 5X5 + Ui \quad (1)$$

Dónde:

[1] A partir de la Decisión N° 702 y la Resolución N° 1260 de la Comunidad Andina de Naciones y Araque (2015), para efectos estadísticos las empresas se clasifican según su tamaño: 1. Micro: 1-9 trab / 2. Pequeña: 10 a 49 / 3. Mediana: 50 a 199 / 4. Grande: + 200.

Yi: Variable dependiente "Desempeño Innovador"
ß0: Constante
X1: Cooperación Universidad – Empresa
X2: Tamaño de la Empresa
X3: Gasto I&D
X4: Empresa local
X5: Antigüedad de la empresa
ß1, ß2, ß3, ß4, ß5: parámetros

Para la verificación de la hipótesis H2 y H3, se adopta el modelo de Velez, Afcha y Bustamante (2019), mediante el cual se busca determinar cómo las variables influyen sobre la Cooperación Universidad-Empresa, según se muestra en la fórmula (2):

$$Y_i = \beta 0 + \beta 1X1 + \beta 2X2 + \beta 3X3 + \beta 4X4 + Ui \quad (2)$$

Dónde:
Yi: Variable dependiente "Cooperación Universidad – Empresa"
ß0: Constante
X1: Tamaño de la Empresa
X2: Gasto I&D
X3: Empresa local
X4: Antigüedad de la empresa
ß1, ß2, ß3, ß4, ß5: parámetros

2.3. Procedimiento para la validación de hipótesis

Para la verificación de H1: "La cooperación universidades - empresas influye positivamente en el desempeño innovador de la empresa", se determinó que la variable dependiente "Desempeño Innovador" adopta el valor de 1 si la empresa introdujo al mercado un nuevo o significativamente mejorado producto y 0 en caso contrario. La composición de las variables independientes se indica en la Tabla 2. Para la verificación de la hipótesis se aplicará el método de Regresión Logística Binomial, previo análisis de regresión múltiple para aplicar pruebas de independencia de errores y de no multicolinealidad. Si existe un efecto positivo y estadísticamente significativo se considerará que existe evidencia empírica para aceptar la hipótesis H1.

Sobre la base de la metodología descrita en el párrafo anterior, se procedió a la verificación de las hipótesis H2: "Mientras mayor sea el tamaño de la empresa mayor es la posibilidad de establecer cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación" y H3: "Las empresas con altos gastos de I&D tendrán una mayor posibilidad de establecer acuerdos de cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación".

3. Resultados

Previo al análisis de la hipótesis H1, se aplicaron pruebas de la independencia de errores y de no multicolinealidad, para ello se efectuó una regresión múltiple, obteniéndose

como resultado que la prueba de Durbin-Watson indica que se cumple el supuesto de independencia de errores y, además no hay multicolinealidad:

Prueba	Parámetro	Resultado	Aceptación
Independencia de errores	Índice de Durbin-Watson	1.911	Rango de 1 a 3
No multicolinealidad	Factor de inflación de la varianza	X1: 1.023 X2: 1.140 X3: 1.011 X4: 1.052 X5: 1.069	Multicolinealidad si es mayor que 10

Tabla 3 – Pruebas de la independencia de errores y de no multicolinealidad

Respecto a la hipótesis H1, que afirma que la Cooperación Universidad - Empresa influye positivamente en el Desempeño Innovador de la empresa, se aplicó el modelo de Regresión Logística Binomial. El total de casos seleccionados es 1452; sin embargo, se incluyen en el análisis 1442 (99.3%). Para el análisis de regresión logística del modelo, se tiene:

Resultados del Bloque 0:

- Se indica que hay un 70.5% de probabilidad de acierto en el resultado de la variable dependiente.

Resultados del Bloque 1:

- La puntuación de eficiencia estadística ROA indica que hay una mejora significativa en la predicción de la probabilidad de ocurrencia de las categorías de la variable dependiente: Chi cuadrado = 55.055, gl = 5, p<0.001.
- El valor de R cuadrado de Nagelkerke indica que el modelo propuesto explica el 5.3% de la varianza de la variable dependiente (r2=0.053).
- La prueba de Hosmer y Lemeshow indica que la varianza explicada por el modelo comprende un porcentaje significativo de la varianza de la variable dependiente: Chi cuadrado = 66.671, gl= 8, p<0.001.
- Se indica que hay un 69.5% de probabilidad de acierto en el resultado de la variable dependiente.
- En la Tabla 4 se presentan los resultados al aplicar la regresión logística binomial, utilizando para ello el software SPSS.

Variables	ß	Wald	gl	Sig.	Exp(ß)
Cooperación Univ-Emp	-0,484	10,216	1	0,001	0,617
Tamaño de empresa	0,258	14,555	1	0,000	1,294
Ratio ID/ventas	5,331	11,703	1	0,001	206,659
Empresa local	0,352	4,440	1	0,035	1,422
Antigüedad	-0,425	3,208	1	0,073	0,653
Constante	-1,303	26,393	1	0,000	0,272

Tabla 4 – Variables del Modelo “Desempeño Innovador”

A partir de los resultados del modelo regresión logística presentados en la Tabla 4, se determinan los parámetros de la formula (1) que se presentan en la fórmula (3):

$$Desempeño\ Innovador = -1.303 - 0.484 Cooperación\ Univ - Emp + 0.258 Tamaño\ de\ Empresa + 5.331 Ratio\ ID/Ventas + 0.352 EmpresaLocal - 0.425 Antiguedad + Ui \quad (3)$$

Para la aceptación o rechazo de la hipótesis H1, se analizaron las estimaciones de la Tabla 4:

- La puntuación de Wald para el modelo indica que las variables independientes aportan significativamente a la predicción de la variable dependiente "Desempeño Innovador", y los resultados obtenidos de se pueden generalizar a la población.
- El riesgo multivariado indica que las variables significativas son tamaño de la empresa, el gasto en I&D y si es empresa local (Exp(ß) > 1). Sin embargo, la variable de Cooperación Universidad-Empresa es significativa, pero presenta un riesgo multivariado menor a 1 (Exp(ß) < 1).
- Por tanto, se rechaza la hipótesis H1, es decir no se encuentra incidencia de la cooperación universidad-empresa sobre la mejora en el desempeño innovador de las empresas en Perú.

Para verificar la aprobación o rechazo de H2, que afirma que mientras mayor sea el tamaño de la empresa mayor es la posibilidad de establecer cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación, y de H3 que afirma que las empresas con altos gastos de I&D tendrán una mayor posibilidad de establecer acuerdos de cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación, se aplicó la regresión logística binomial obteniéndose los resultados de la Tabla 5.

Variables	ß	Wald	gl	Sig.	Exp(ß)
Tamaño de empresa	0,395	21,277	1	0,000	1,484
Ratio ID/ventas	1,863	0,902	1	0,342	6,446
Empresa local	0,405	4,479	1	0,034	1,500
Antigüedad	0,158	0,337	1	0,561	1,171
Constante	-2,981	111,504	1	0,000	0,056

Tabla 5 – Variables del Modelo "Cooperación Universidad-Empresa"

A partir de los resultados del modelo regresión logística presentados en la Tabla 5, se determinan los parámetros de la formula (2) que se presentan en la fórmula (4):

$$Cooperación\ Univ - Emp = -2.981 + 0.385 Tamaño\ de\ Empresa + 1.863 Ratio\ ID/Ventas + 0.405 EmpresaLocal - 0.158 Antiguedad + Ui \quad (4)$$

Analizando los resultados la Tabla 5 para determinar aprobación o rechazo de las hipótesis se tiene lo siguiente:

- Las variables independientes significativas son tamaño de empresa y si es empresa local; además de la variable gastos de I&D pero a un nivel de significancia del 5%.
- Para la hipótesis H2, se observa que la variable independiente tamaño de las empresas es significativa. En consecuencia, se aprueba H2; por tanto, mientras mayor sea el tamaño de las empresas mayor será la cooperación de las Universidades para el desarrollo de las actividades de innovación.
- Para la hipótesis H3, se observa que la variable independiente Ratio ID/ Ventas resulta significativa al 5% de nivel de significancia. En consecuencia, se acepta H3; por tanto, las empresas con altos gastos de I&D tendrán una mayor posibilidad de establecer acuerdos de cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación en Perú.

4. Discusión

La presente investigación busca determinar la relación entre la innovación empresarial producto del vínculo universidad – empresa en el contexto de la industria manufacturera peruana, mediante la aplicación del modelo Laursen & Salter (2004). Para ello se utiliza el modelo de investigación en innovación de las empresas de Schwartz & Guaipatín (2014) y se determinan las variables que influyen en la innovación empresarial. Velez, Afcha & Bustamante (2019) brindan la especificación de las variables que explican el crecimiento de la innovación empresarial.

Se esperaba que los resultados confirmarán la existencia de factores que explican el por qué las empresas utilizan las universidades para acceder a innovación y desarrollo (Cassiman et al., 2010; Gómez et al., 2014), sin embargo, los resultados no ratificaron dicha apreciación. Se observa que el tamaño de empresa, los gastos en investigación y desarrollo, y las empresas nacionales son factores importantes en el desempeño innovador de las empresas peruanas.

Complementariamente, se muestra la incidencia directa que existe entre el tamaño empresarial con la probabilidad de cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación (García, 2013; Laursen & Salter, 2004; Veugelers y Cassiman, 2005). Así mismo, el análisis de regresión logístico binomial permite afirmar que el tamaño de las empresas es efectivamente una variable independiente y significativa en la estimación del modelo. Además, el mismo análisis de regresión, comprueba que los altos gastos de Investigación y Desarrollo poseen un valor probabilístico significativo para establecer acuerdos de cooperación con las Universidades para el desarrollo de actividades de innovación.

A fin de ampliar los hallazgos de este estudio, se recomienda considerar variables adicionales para mejorar el pronóstico de acierto del modelo. Además, comprender cómo las universidades impactan en la innovación de las empresas es importante para el desarrollo de una estrategia de crecimiento basada en el conocimiento más adaptada

en la cual la transferencia de conocimiento entre la universidad y la empresa puede ser ventajosa para ambas partes (Maietta, 2017).

5. Conclusiones

Durante el periodo de 2012-2014, en el Perú se comprueba la no incidencia de la cooperación universidad-empresa sobre la mejora en el desempeño innovador empresarial en la industria manufacturera. Esto se expresa en el parámetro de Cooperación Universidad-Empresa que alcanza valores negativos, estableciendo un efecto indirecto sobre la variable dependiente de cooperación para la innovación.

Por otro lado, se comprueba que mientras mayor sea el tamaño de las empresas mayor será la posibilidad de establecer cooperación con las universidades para el desarrollo de las actividades de innovación; así también, aquellas empresas con altos gastos en investigación y desarrollo tendrán una mayor posibilidad de establecer acuerdos de cooperación con las universidades para el desarrollo de actividades de innovación.

Con el propósito de aumentar el volumen de actividades de colaboración en innovación, es esencial que las empresas estén bien equipadas para participar efectivamente en dicha colaboración (Perkmann & Salter, 2012), siendo esencial para la interacción entre la universidad y la empresa el papel de las oficinas de transferencia de tecnología en las universidades (Perkmann et al., 2013), pero adoptando un enfoque de reconversión tecnológica que fortalecería la relación de colaboración, mientras que si se adopta un enfoque de investigación científica se debilitaría dicha relación (Soh & Subramanian, 2014). Además, se debe tomar en cuenta que los proyectos de investigación y desarrollo universitarios con empresas en industrias emergentes tienen menos probabilidades que los proyectos con empresas en industrias maduras de ser el resultado de iniciativas académicas y convocatorias públicas de proyectos de investigación, o ser financiados en su totalidad por los principales patrocinadores públicos de investigación (Bodas, Argou & Mirra de Paula, 2013).

Es importante que el gobierno deba identificar la fortaleza de cada universidad para colaborar con un sector industrial específico (Salleh & Omar, 2013), contando con la participación activa del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC para coordinar la colaboración entre las tres partes: gobierno, empresa y universidad.

Referencias

Álvarez, M.E. (2013). *Vinculación universidad-sociedad: estudio de un equipo de trabajo en el área de gestión ambiental de la Universidad Nacional de La Plata* (Tesis de Grado). Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires.

Araque, W. (2015). Caracterización de la Pyme ecuatoriana. *Gestión*, (248), 64-67.

Ankrah, S., & Al-Tabbaa, O. (2015). Universities-industry collaboration: a systematic review. *Scandinavian Journal of Managment*, 31(3), 387-408.

Arias, L., Portilla, M. & Fernandez, S. (2012). Vinculación universidad empresa como formador de capital humano para la competitividad e impacto social. *Scientia et Technica*, 17(52), 57-64.

Aristei, D., Vecchi M., & Venturini, F. (2016). University and inter-firm R&D collaborations: propensity and intensity of cooperation in Europe. *The Journal of Technology Transfer*, 41(4), 841-871.

Bodas, I., Argou, R., & Mirra de Paula, E. (2013). University–industry collaboration and innovation in emergent and mature industries in new industrialized countries. *Research Policy*, 42(2), 443-453.

Bruneel, J., D'Este P., & Salter A. (2010). Investigating the factors that diminish the barriers to university-industry collaboration. *Research Policy*, 39(7), 858-868.

Chang, H. (2010). El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la universidad y empresa. *Revista Nacional de Administración*, 1(1), 85-94.

Comunidad Andina de Naciones – CAN. (2008). Decisión N° 702.

Comunidad Andina de Naciones – CAN. (2009). Resolución N° 1260.

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática del Perú –INEI. (2015). *Encuesta nacional de innovación en la industria manufacturera*.

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática del Perú –INEI. (2017). Perú: *encuesta nacional de innovación en la industria manufacturera – principales resultados*.

García, F., Jin, B., & Salomon, R. (2013). Does inward foreign direct investment improve the innovative performance of local firms? *Research Policy*, 42(1), 231-244.

García, O., Quintero, J., & Arias, J. (2014). Capacidades de innovación, desempeño innovador y desempeño organizacional en empresas del sector de servicios. *Cuadernos de Administración*, 27 (49), 87-108.

Gujarati, D. & Porter, D. (2010). *Econometría* (5a Ed.), México, McGrawHill.

Jaramillo, H., Lugones, G., & Salazar, M. (2000). *Normalización de indicadores de innovación tecnológica en América Latina y el Caribe – Manual de Bogotá*. OEA/ RICYT, Bogotá, Tres Culturas Editores Ltda.

Laursen, K., & Salter, A. (2004). Searching high and low: what types of firms use universities. *Research Policy*, 33(8), 1201-1215.

Maieta, O. (2015). Determinants of university–firm R&D collaboration and its impact on innovation: A perspective from a low-tech industry. *Research Policy*, 44(7), 1341-1359.

Maieta, O., Barra, C., & Zotti, R. (2017). Innovation and university-firm R&D collaboration in the European food and drink industry. *Journal of Agricultural Economics*, 68(3), 1-32.

Perkmann, M., Tartarik, V., McKelvey, M., Autio, E. Broström, A., D'Este, P., ..., & Sobrero, M. (2013). Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university–industry relations. *Research Policy*, 42(2), 432-442.

Perkmann, M., & Salter, A. (2012). How to create productive partnerships with universities. *MIT Sloan Management Review*, 53(2012), 79-88.

Rõigas, K., Seppo, M., Varblane, U. & Mohnen, P. (2014). Which firms use universities as cooperation partners? – The Comparative view in Europe. *The University of Tartu Faculty of Economics and Business Administration Working Paper*, No. 93-2014

Salleh, M.S., & Omar, M.Z. (2013). University-industry collaboration models in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 102(22), 654-664.

Scandura, A. (2016). University–industry collaboration and firms' R&D effort. *Research Policy*, 45(9), 1907-1922.

Velez, I., Afcha, S, & Bustamante, M. (2019). Cooperación universidad – empresa y su efecto sobre el desempeño innovador empresarial. *Información Tecnológica*. 30(1), 159-168.

Soh, P. & Subramanian, A. (2014). When do firms benefit from university–industry R&D collaborations? The implications of firm R&D focus on scientific research and technological recombination. *Journal of Business Venturing*, 29(6), 807-821.

Veugelers, R., & Cassiman, B. (2005). R&D cooperation between firms and universities, some empirical evidence from belgian manufacturing. *International Journal of Industrial Organization*, 23(5-6), 355-379.

Wooldridge, J.M. (2010). *Introducción a la econometría - un enfoque moderno* (4a Ed.), México D.F., Cengage Learning Editores S.A.

Zanello, G., Fu, X., Mohnen, P., & Ventresca, M. (2016). The creation and diffusion of innovation in developing countries. A systematic literature review. *Journal of Economic Surveys*, 30 (5), 884-912.

Zelaya, J. (2010). *La vinculación universidad-empresa y la provisión de servicios tecnológicos* (1a Ed), San Salvador, UFG Editores.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 05/06/2019
Aceitação/Acceptance: 15/09/2019

Comportamiento de los roedores expuestos a radiación electromagnética generada por los teléfonos móviles

Roberto Carlos Vera[1]

encargado.lab.cienciasbasicas@utepsa.edu

[1] Universidad Tecnológica Privada de Santa Cruz (UTEPSA), Facultad de Tecnología, Av. Noel Kempff Mercado N° 715, 4146, Santa Cruz, Bolivia.

Pages: 481–493

Resumen: En este documento, se presenta un diagnóstico del uso prolongado y cotidiano de los teléfonos móviles, los cuales funcionan con los principios físicos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes (RNI). A partir del análisis biológico de los roedores, se tomaron diferentes estrategias metodológicas, concentradas en el objetivo de analizar el comportamiento de los roedores con y sin exposición a las RNI, generadas por teléfonos móviles. Este estudio consideró diferentes fases, para llegar a conclusiones respecto a la manipulación y seguridad del uso de los tel**éfonos móviles,** su interacción con el sentido de la vista en un tiempo prolongado y el grado de incremento en el nivel de estrés en las muestras experimentales.

Palabras clave*: RNI; electromagnetismo; nits; teléfono móvil; estrés.*

Demeanor of rodents exposed to the electromagnetic radiation of mobile telephones

***Abstract*:** In this document, a diagnosis of the prolonged and daily use of mobile phones is presented by analyzing the physical principles of non-ionizing electromagnetic radiation (NIR). From the biological analysis of rodents, different methodological strategies were taken, focused on the objective of analyzing the behavior of rodents with and without exposure to NIR, generated by mobile phones. This study considered different phases in order to achieve results and conclusions regarding the manipulation and safety of the use of mobile phones, their interaction with the sense of sight in a prolonged time and the degree of increase in the level of stress in the experimental samples.

Keywords: *NIR; electromagnetism; nits; mobile phone; stress.*

1. Introducción

La expansión del uso de los nuevos servicios artificiales de emisión de radiación no ionizante (RNI), como son los sistemas de energía eléctrica y telecomunicación, que

se utilizan hoy en día, han puesto a la sociedad en una incertidumbre por conocer y observar cuáles son los posibles efectos sobre la salud humana, además de los riesgos concernientes al medio ambiente en el que vivimos. Según el sondeo a la información existente, el uso masivo de estos servicios de telecomunicación se ha producido cuando aún en la comunidad científica no se tenía un consenso amplio sobre los riesgos de estos sistemas, a nivel celular hasta los comportamientos sociales y ambientales. Por esta razón, la Organización Mundial de la Salud (OMS) como ente máximo de prevención, menciona: "*En los dos últimos decenios se ha realizado un gran número de estudios para determinar si los teléfonos móviles pueden plantear riesgos para la salud. Hasta la fecha no se ha confirmado que el uso del teléfono móvil tenga efectos perjudiciales para la salud.*" (Who, 2016).

De esta manera, hasta la actualidad, persiste en algunos sectores la controversia sobre los posibles efectos de los campos electromagnéticos o RNI en la salud. Esto se viene manteniendo desde finales de los años 60 y ha dado lugar a que los organismos representativos tengan establecidas normativas de seguridad. Esta situación se ha agudizado en el caso de las antenas de telefonía móvil y los celulares, por la densidad acrecentada y progresiva en las últimas décadas. Este aspecto, es un punto de debate en la comunidad científica que se encuentra polarizado, aquellos que se sitúan en las recomendaciones de organismos internacionales como la: OMS, ICNIRP, y otros, que indican que los efectos biológicos tan solo están probados en el ámbito de los llamados "efectos térmicos" y aquellos grupos de investigadores independientes que opinan que existen otros efectos no-térmicos que se producen por debajo de los límites indicados en las recomendaciones internacionales.

Sin duda alguna, se debe tomar en cuenta que la sociedad, se encuentra inmersa ante una exposición de campos electromagnéticos variables en el espacio y el tiempo. Por esta razón, los organismos gubernamentales, no gubernamentales y entidades académicas involucradas con esta temática, realizan una permanente actualización con un monitoreo constante, donde se observan y se analizan los valores cuantitativos de los niveles de RNI que existen en el medio ambiente, especialmente en aquellos puntos donde están las fuentes de transmisión como las antenas de radio frecuencia y telefonía móvil. Por esta razón, cuando se evalúan los valores de las RNI, se deben tomar en cuenta las normativas existentes de acuerdo a la región donde se realiza el estudio, es así que la comisión internacional de protección contra las radiaciones no ionizantes (por sus siglas en inglés, ICNIRP) menciona que: *"Es importante determinar si, en situaciones de exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias, estas exposiciones son aditivas en sus efectos. La aditividad debería ser examinada separadamente para los efectos de estimulación térmica y eléctrica"* (Icnirp, 2016).

Es así, que uno de los principales órganos expuesto a la tecnología actual es el sentido de la vista, este órgano presenta características físicas el cual se asemeja a una cámara fotográfica. Según varios autores, mencionan que: *El ojo es de forma casi esférica y tiene aproximadamente 2.5 cm de diámetro, con* índices de refracción *en el humor acuoso y el humor vítreo de alrededor de 1.336, en el cristalino tiene un índice promedio de 1.437. Las fibras nerviosas que se ramifican a partir del nervio óptico acaban en*

estructuras diminutas llamadas bastones y conos que junto al líquido azulado llamado púrpura visual, reciben la imagen óptica y transmiten por el nervio óptico hacia el cerebro. (Young, et al., 2009, págs..1185-1187). Es por ello, que el uso de las fuentes de información, como son: las computadoras personales, las tablets y los teléfonos móviles (celulares) principalmente, son fuentes de emisión de campos RNI de diferente valor, además de emitir una cierta intensidad de luz directa al ojo humano cuando se la utiliza por un determinado tiempo.

En este entendido, la visión es muy importante para el ser humano, donde Alvares y colaboradores concluyen que: "*... la iluminación inadecuada del puesto de trabajo y no descansar cada 20 minutos son factores asociados a la presencia de síntomas oculovisuales en usuarios de computador"* (García Álvarez, 2019). Es por ello, que hoy en día la extensa gama de instrumentos tecnológicos tiene como función principal la emisión de luz con diferentes valores en sus intensidades. Además, es necesario considerar que muchas veces se confunden las terminologías de la radiación en los términos de flujo radiante con el flujo luminoso, donde estos son aspectos muy diferentes, considerando que en este último se habla estrictamente del brillo de la luz. En este sentido, para realizar el cálculo de la iluminación se consideran los siguientes modelos matemáticos:

$$E = \frac{dF}{dA} \tag{1}$$

$$I = \frac{dF}{d\Omega} \tag{2}$$

Estas dos ecuaciones, permiten determinar la iluminación (ecuación 1), que tiene una determinada superficie de estudio y la intensidad luminosa (ecuación 2) que existe en el medio de la fuente de emisión y su entorno. Generalmente, las personas gradúan esta intensidad especialmente en los teléfonos móviles, pero muchas personas a medida que pasa el tiempo y/o en situaciones de no confort (Interacción con la luz del sol), aumentan la intensidad para visualizar la pantalla del dispositivo electrónico, ya que según Pedrero y colaboradores afirman que: "*... lo que llama la atención en los estudios, es el hecho de que muchas personas no tienen ningún problema en considerarse a sí mismas como "adictas al móvil"* (Pedrero Pérez, 2012).

Por lo tanto, el fenómeno de interacción de la luz con la materia, es una actividad dinámica que cotidianamente se lleva a cabo entre el ser humano y las diferentes fuentes de RNI, como las ya citadas anteriormente. Es por tal razón, que existe la susceptibilidad de que esta influencia pueda ocasionar algún daño o riesgo en la salud del hombre, por la exposición temporal y prolongada. Ante esta situación, en el presente documento se presenta un estudio de la interacción de las RNI con el sentido de la vista y el nivel de estrés. Tomando en cuenta un experimento de observación, centrados en el problema de ¿Cómo es el com*portamiento de los roedores, expuestos a radiación electromagnética generada por los teléfonos móviles?* Para esto se toman en cuenta las normativas y estándares de emisión de RNI en el medio ambiente.

2. Materiales y Métodos

El desarrollo de este documento parte de una cronología temporal, avanzada en etapas, utilizando el analizador de espectro electromagnético "Spectran" calibrado y certificado por AARONIA-AG para mediciones desde 1 Hertz (Hz) hasta los 6 Giga Hertz (GHz) de frecuencia, y otros instrumentos de precisión, para el proceso de este trabajo. Asimismo, este parte de un método científico centrado en el análisis descriptivo, donde se desarrolló un estudio no experimental, para el cumplimiento del objetivo orientado en el análisis del comportamiento de los roedores expuestos a la radiación electromagnética no ionizante generados por los teléfonos móviles, tomando en cuenta las observaciones que se desarrollaron dentro del trabajo.

Figura 1, 2 y 3 – Imagen de los instrumentos (UTEPSA) y bioterio (Lab. de Carrera de Física-UATF-Potosí)

Para esta situación se utilizaron roedores albinos, en una muestra pequeña de indagación (24 muestras entre hembras y machos). Con el uso de las técnicas metodológicas longitudinal, el mismo que muestra la evolución del comportamiento de los roedores. También, se dio uso a la herramienta de investigación exploratoria, con el propósito de destacar los aspectos fundamentales de la problemática tomando en cuenta los siguientes procedimientos:

- Adaptación de un bioterio en el laboratorio de Física en la ciudad de Potosí 3950 m.s.n.m.
- Análisis de la aclimatación de los roedores en el bioterio en: Alimentación, hiperactividad, masa corporal de los roedores y análisis del hábitat.
- Exposición gradual de los roedores a los campos electromagnéticos generados por los teléfonos móviles.
- Análisis del comportamiento de los roedores en presencia de campos electromagnéticos generados por los teléfonos celulares.
- Análisis estadístico del uso y manejo del teléfono móvil por las personas.

Este procedimiento facilita la comprensión y el análisis de la interacción de los campos electromagnéticos de RNI con cuerpos bilógicos.

3. Resultados

El desarrollo por fases consistió en: primera fase se tuvo el control del ambiente en las medidas de temperatura ambiente del bioterio (entre 15 a 20 °C), humedad (promedio de 53%), hábitat del animal (control de orina, defecación y trayectoria rutinaria), alimentación (promedio de 20 g día/muestra), consumo de agua (35 ml día/ camada), control de las dimensiones de tamaño y la masa corporal del animal. En la segunda etapa, se realizó la valoración experimental en la observación de irradiación con la exposición y la no exposición a los campos electromagnéticos, generados por los teléfonos móviles. En virtud a este aspecto en la Figura 4, se muestra la valoración del nivel de estrés de los roedores antes de ser irradiados y después, al ser separados en camadas diferentes para cumplir con las metas de este trabajo.

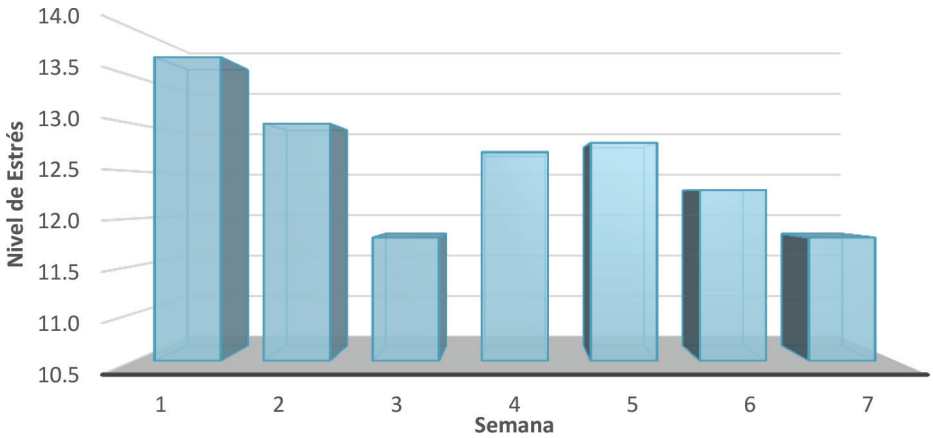


Figura 4 – Niveles de estrés antes de la exposición a campos electromagnéticos.
(Fuente: Carrera Física U.A.T.F.-Potosí)

De acuerdo a esta valoración, se muestra que la actividad de los ratones antes de la exposición a campos electromagnéticos, presentan un comportamiento natural de hiperactividad, todos presentan habilidad en la rueda giratoria y otros en los obstáculos que se encuentra en su habitad (jaulas de vidrio). Los roedores desarrollan un orden de trayectoria en necesidades para su alimentación y necesidades sanitarias (orina y defecación). En los periodos de alimentación, se observó una pequeña presencia de agresividad en muy poca frecuencia, la cual fue muy leve (interacción por sobrevivencia). Dentro de su habitad no presentaron daños o cambios notables; por otro lado, su fisiología es normal y siempre están limpiando su pelaje, no presentan irritabilidad en ninguna parte del cuerpo. Durante las 7 semanas, los animales se adaptaron de manera progresiva a las condiciones del medio ambiente de la ciudad de Potosí donde se realizó el experimento.

Para analizar la exposición a radiación electromagnética, debemos conocer y caracterizar los teléfonos móviles, que operan con frecuencias desde 850 MHz hasta los 2.2 GHz. Por lo cual, también es importante en esta investigación la catalogación de los diferentes teléfonos móviles existentes en el mercado de la ciudad de Potosí y Santa Cruz (Universidad UTEPSA).

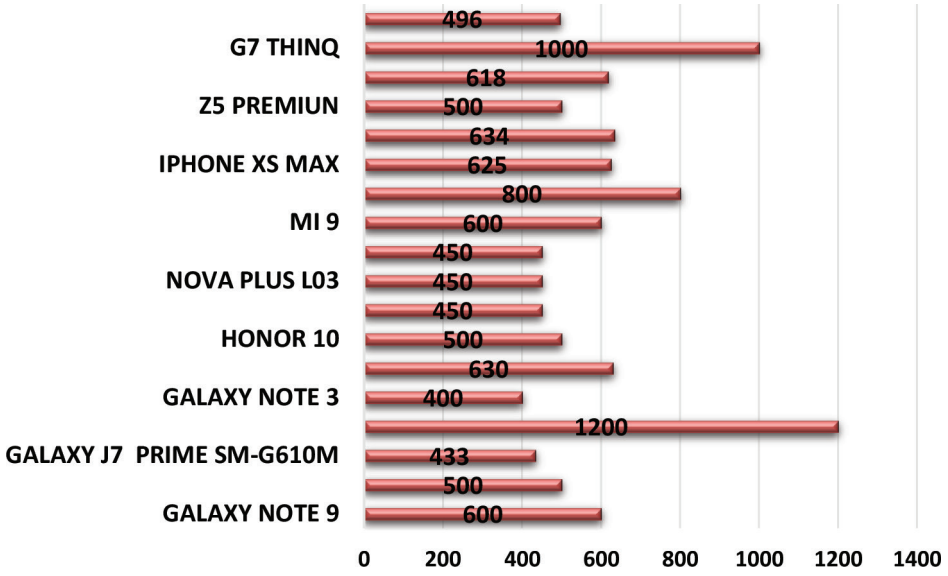


Figura 5 – Intensidad de brillo de la pantalla del celular expresado en NITS.
(Fuente: Información técnica de celulares, efectuado Lab. de Física UTEPSA.)

Como se puede evidenciar en la Figura 5, se observan las intensidades de brillo irradiado por los celulares, las mismas que son variable según la marca, el modelo y el tamaño del celular. El flujo luminoso se evidencia por el patrón óptico y su unidad fundamental en el sistema internacional (S.I.) es el lumen (lm). Para la fabricación de teléfonos móviles, se adapta la terminología de “Nits”, el mismo que tiene la acción del brillo y contrasta los rayos de sol cuando el teléfono móvil se utiliza en campo abierto, esto quiere decir que; el “Nits” es la cantidad de brillo para contrastar la intensidad de los rayos de sol que impiden la observación de la pantalla del teléfono móvil.

Es ante esta descripción, y si se toman en cuenta los principios físicos de la óptica en la emisión de luz generada por los celulares, deben ser uniformes en el área circundante. Por lo que las interacciones que se desarrollan entre la pantalla del celular y el ojo humano, pueden contraer diferentes riesgos fisiológicos y patológicos, todo esto depende del tiempo de exposición y de la distancia a la cual comúnmente se opera este dispositivo electrónico. Por lo cual, estos datos evaluados muestran valores que están dentro las normas de seguridad, pero estos factores pueden ser un riesgo físico de manera

progresiva en el tiempo para el ser humano si no se tiene el cuidado y/o manipulación adecuada con la pantalla del teléfono móvil.

Otro aspecto importante que se analizó dentro de este documento, es la valoración de la densidad de potencia que generan los diferentes celulares, para lo cual, en la siguiente Figura se muestra un detalle de la misma.

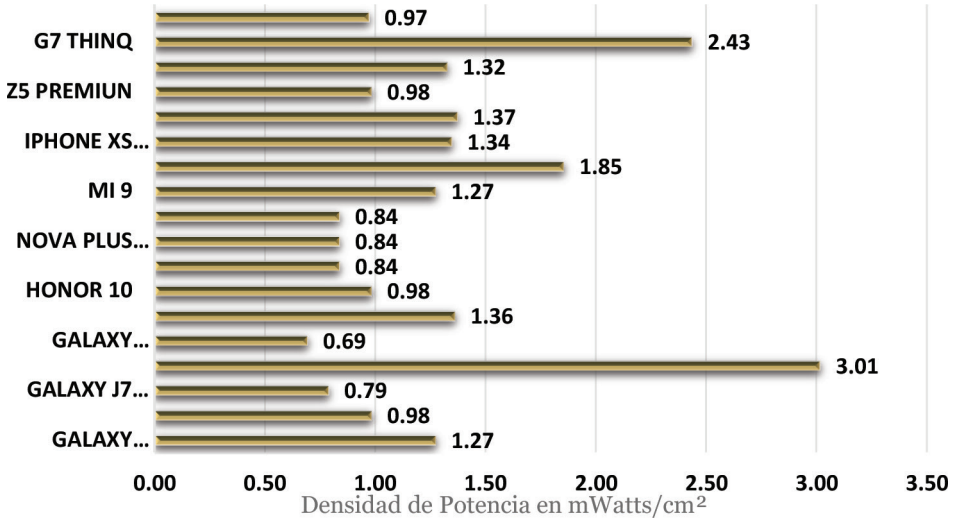


Figura 6 – Intensidad de la potencia de radiación electromagnética de celulares a 5,3 cm de distancia.
(Fuente: Laboratorio de Física UTEPSA)

Tomando en cuenta los aspectos primordiales de control de radiación emergentes por diferentes dispositivos y/o fuentes de radiación externa en la Figura 6, se muestra el valor de la intensidad de radiación electromagnética no ionizante generada por el teléfono móvil a una distancia de 5,3 cm con respecto al mismo. Estos datos son valores promedios registrados experimentalmente por el analizador de espectros SPECTRAN HF-60105. Se evidenció que la cantidad de radiación electromagnética toma valores diferentes, por ejemplo, cuando se realiza la llamada es superior comparada al valor de la recepción de llamada. Además, se debe considerar que, los circuitos internos que llevan los teléfonos móviles en cuanto a altavoz concentran una mayor intensidad de campo magnético, lo cual induce un incremento no muy significativo. Así mismo, esta densidad de radiación está sujeta proporcionalmente a la intensidad de brillo o Nits, lo cual origina una mayor concentración de campo electromagnético. Pero, aun así, esta intensidad de campo electromagnético es pequeña en un determinado tiempo, por lo que; de acuerdo a las revisiones técnicas de cada teléfono móvil, se sugieren tener el tiempo prudente de conversación y/o de activación de las funciones para su manipulación. Es por ello que la seguridad ante agentes físicos, como son los campos electromagnéticos, deben estar

acorde a las normas y/o reglamentos vigentes de cada región, para resguardar la salud del individuo que no es solamente tarea de la empresa, ni del estado, sino más bien, del sujeto que manipula el teléfono celular.

Una vez evaluados los aspectos principales de la concentración de la radiación electromagnética y del flujo luminoso que otorgan los teléfonos móviles (Nits), se procedió a la irradiación de los campos electromagnéticos sobre los roedores con tiempos controlados durante un periodo de 8 semanas. De esta manera, el comportamiento de los roedores se agudizó en diferentes aspectos, lo que elevó su nivel de estrés, para lo cual en la Figura 7, se muestra esta evidencia.

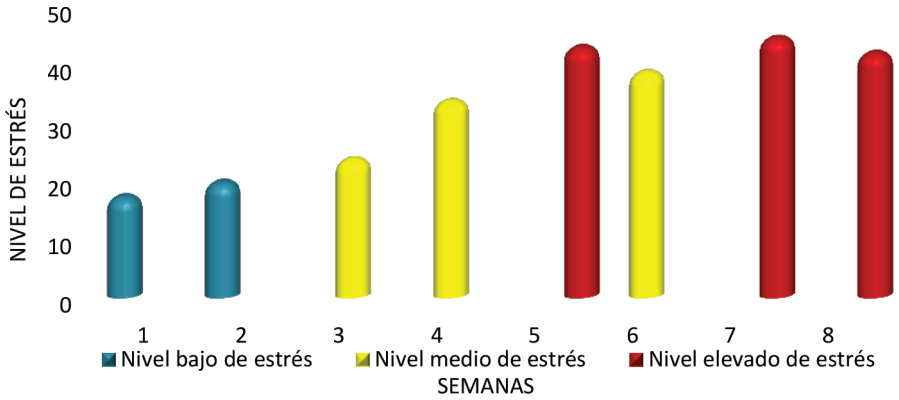


Figura 7 – Niveles de estrés con exposición a campos electromagnéticos de T. M.
(Fuente: Laboratorio de carrera de Física UATF-Potosí)

Para el método de exposición a campos electromagnéticos, se realizó una secuencia gradual por día hasta llegar a un límite de tiempo de dos horas continuas de exposición bajo una escala de medición de Likert, en este sentido en la Figura 7, se muestra el comportamiento del nivel de estrés (color azul, amarillo y rojo), de los roedores. Según la valoración de la escala Likert, estos valores son el acumulado temporal, donde se muestra que el nivel de estrés de los ratones va elevándose gradualmente, esto es "posiblemente influenciado por la radiación electromagnética emanada por los celulares"; lo que ocasiona que el ratón realice una respuesta natural y necesaria para la supervivencia. Estos niveles ocasionan la confusión y/o alteración del ciclo vital de los roedores en su entorno; cuando esta respuesta natural se da en exceso, se produce una sobrecarga de tensión que repercute en el organismo y provoca la aparición de diferentes anomalías patológicas y en su habitad, que impiden el normal desarrollo y actividad del roedor. Un aspecto importante y predominante que se observó en este desarrollo, es que los roedores irradiados por mayor tiempo presentaron una irritación crónica en los ojos, que fue evidenciada a simple vista. Por esta razón, es importante tomar en cuenta el grado y tiempo de exposición que se tiene a los teléfonos celulares.

En virtud de esta situación es importante tomar en cuenta, que con las novedades tecnológicas de las diferentes aplicaciones que se dan en los celulares, la población en general se encuentra sometida de manera muy directa a la exposición de campos electromagnéticos como de las intensidades de luz que emiten dichas fuentes de forma variable. En esta situación, se realizó un muestreo dentro de la comunidad universitaria de UTEPSA, para una población de 5,000 personas con un error del 5%, donde se analizó la situación actual en el uso y manipulación de los celulares. En las siguientes Figuras se muestran los principales resultados, donde se evidencia la dependencia del ser humano al teléfono celular.

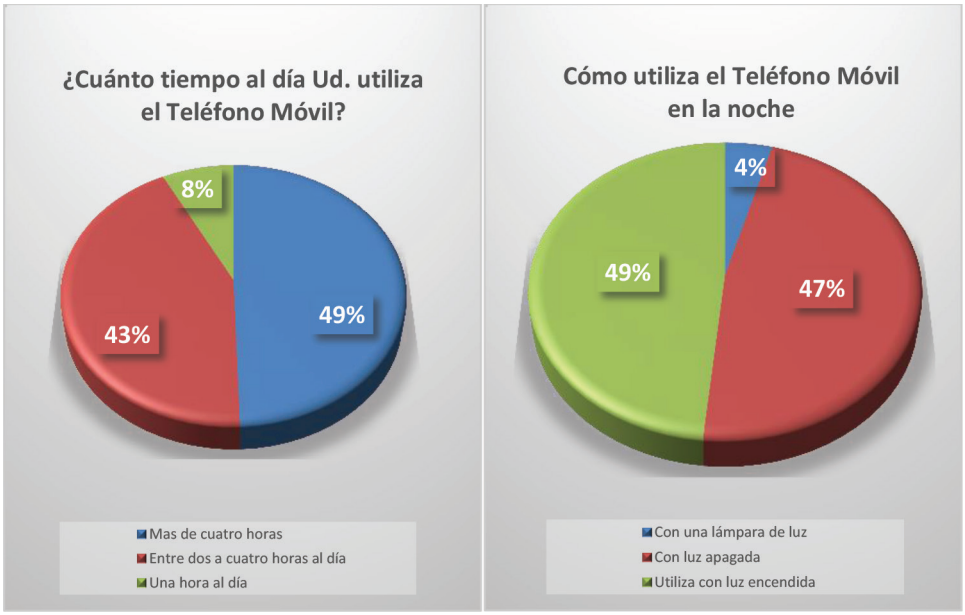


Figura 8 - Muestra de valores estadísticos (izq.) Tiempo de uso al día (der.) Uso de luz cuando se utiliza el teléfono celular durante la noche.
(Fuente: Laboratorio de Física UTEPSA)

Dentro de esta valoración se evidencia la estadística que se efectuó dentro de UTEPSA, se ha tomado la acción de una mayor participación de los estudiantes de pregrado que se encuentran en el rango de edades desde los 18 hasta los 23 años de edad de las diferentes carreras que cuenta la universidad. De acuerdo a esta información, la dependencia de los teléfonos móviles se incrementa en el transcurso del tiempo por las diferentes aplicaciones que tienen los celulares, como ser: WhatsApp, Facebook y juegos en red principalmente, donde estos servicios originan en el individuo una mayor cantidad de tiempo de permanencia frente del teléfono celular. Además, es evidente que el 47.3% de los encuestados manipula el celular en horas de la noche en un ambiente sin luz. Este

es un posible riesgo físico, el cual perjudica al sentido de la vista lo que con el tiempo genera diferentes malestares. Asimismo, debemos recordar que la intensidad de brillo puede maltratar a los bastones y conos que se tiene en el ojo, ya que estos son los que regulan las intensidades de luz que son necesarios para la percepción visual del medio.

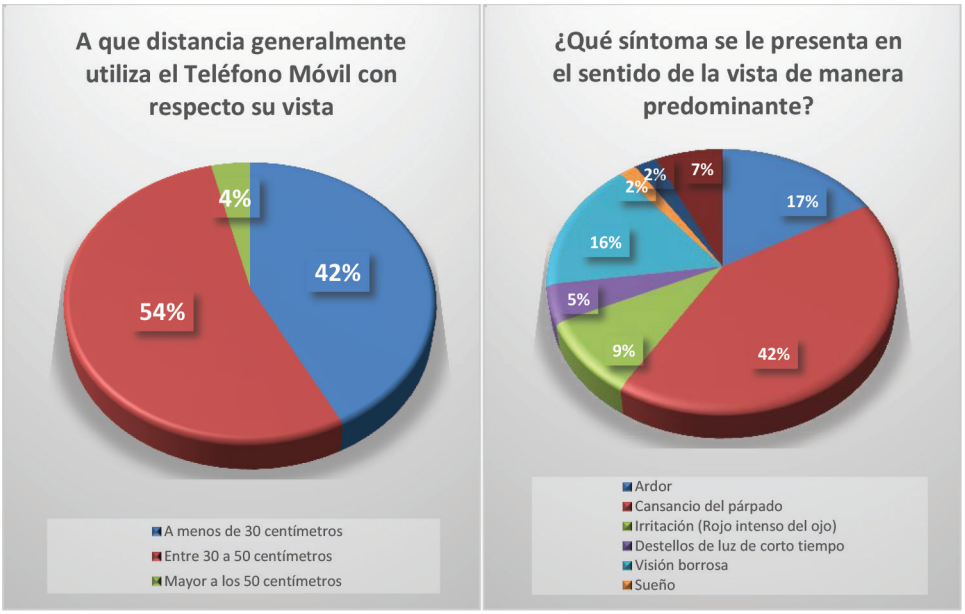


Figura 9 – Muestra estadística de Distancia de uso del teléfono móvil (izq.) Síntomas al usar cotidianamente estos dispositivos electrónicos (der.).
(Fuente: Laboratorio de Física UTEPSA google form)

Es así que el constante uso de los teléfonos celulares, de acuerdo a la Figura 9, se muestra que existe una gran densidad de la población de usuarios que tienen diferentes afecciones oculares como cansancio del párpado, irritación y ardor en los ojos principalmente. Esto se debe a que muchas de las personas utilizan el celular en un tiempo prolongado, además la distancia entre la fuente que es el teléfono celular y el sentido de la vista, son variables que pueden originar una mayor agudeza en los problemas de visión de cada sujeto. Es por ello, que se debe considerar que cada individuo debería tener la suficiente responsabilidad en realizar la manipulación y el tiempo de uso del teléfono celular.

4. Discusión y Conclusiones

El presente documento trata de establecer una información pertinente con el uso de las nuevas tecnologías que hoy en día se desarrollan, principalmente en el uso y manipulación del teléfono celular. Es por ello que UTEPSA como entidad académica, trata de concientizar a la población de los posibles riesgos físicos que se pueden generar

por la mala manipulación de los dispositivos electrónicos. Es así que, principalmente el individuo cuando adquiere un teléfono celular debe realizar la lectura profunda y entendible del catálogo y/o manual de funciones, donde en el mismo se encuentra una gran información de seguridad que es vital para el desarrollo del ciclo de uso y manipulación del equipo. Ante esta situación principal descrita, podemos ampliar las conclusiones del trabajo en los siguientes aspectos:

Para el control de la hiperactividad de los roedores de laboratorio, es necesario implantar un horario, en donde se aproveche las condiciones visuales del comportamiento en cada uno de los mencionados. Dentro del periodo evaluado se logró realizar algunas actividades de control tanto en las alteraciones de su campo vital, como en su alimentación y desarrollo de cada ratón.

Según el tiempo de exposición a campos electromagnéticos, donde operan los teléfonos celulares, se considera que existe una posible influencia sobre los ratones, que tiene su efecto principal en los niveles estrés. Por lo cual el uso desconsiderado de un equipo que funciona con estos principios, puede ocasionar posiblemente algún riesgo fisiológico en el lapso del tiempo, por ello es necesario y prudente hablar lo necesario por el teléfono celular.

Como se evidencia en las Figuras 5 y 6, un teléfono móvil emite una determinada cantidad de radiación electromagnética no ionizante, lo cual provoca un incremento en la energía a su alrededor, el mismo que por un lapso de tiempo prolongado puede causar algún efecto térmico tal como señalan las organizaciones internacionales (OPMS). Por ello se observó en los ratones expuestos, un mayor consumo de agua, una inquietud de molestia en la parte de la nariz y los bigotes, los cuales son frotados permanentemente cuando está activado un teléfono móvil y esto lleva a un posible incremento en el grado de estrés en los roedores.

Se recomienda que, cuando se manipule una fuente de radiación electromagnética con frecuencia de microondas, se asegure de tener la distancia apropiada en contacto con la fuente ya que a menor distancia mayor interacción y viceversa. En el caso estudiado del teléfono móvil procure hablar lo necesario entre un máximo de dos a cuatro minutos, ya que incrementado a este existe una sensación de calentamiento (efecto térmico).

Es recomendable que una persona tan solo porte un teléfono móvil, ya que por las propiedades físicas de superposición este puede ampliar su concentración de energía y/o interferencia en diferentes áreas. Asimismo, las personas que se encuentran con marcapasos deben tener mayor cuidado y evitar el contacto directo, esto es más por la precaución y seguridad del individuo ya que en algunos casos estas señales pueden causar interferencias o ruidos no deseados que pueden afectar al buen funcionamiento de un equipo sensible.

Referencias

Arias, J., Contreras, J., Espada, R., & Melo, M. (2017). Validación de un cuestionario de satisfacción para la introducción de la gamificación móvil en la educación superior. *RISTI - Revisa Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (23), 33-45. https://dx.doi.org/ 10.17013/risti.23.33-45

Barraza, Í., & Zepeda, V. (2017). Factores sociales y humanos que afectan el proceso de educación de requerimientos: una revisión sistemática. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (24), 69-83. https://dx.doi.org/10.17013/risti.n.69–83

Bielsa-Fernández, P., & Rodríguez-Martín, B. (2018). Asociación entre las radiaciones de teléfonos móviles y el riesgo tumoral en personas adultas. *Gaceta Sanitaria*, *32*(1), 81-91. https://dx.doi.org/10.1016/ j.gaceta.2016.10.014

Castellana Rosell, M., & Sánchez-Carbonell, X., & Graner Jordana, C., & Beranuy Fargues, M. (2007). El adolescente ante las tecnologías de la información y la comunicación: internet, móvil y videojuegos. *Papeles del Psicólogo*, 28 (3), 196-204.

Dauvergnee, Ch., & Avendaño, G. (2016). Nota informativa de seguridad para público general: los peligros del mal uso de los teléfonos celulares. *Revista chilena de neuro-psiquiatría*, *54*(1), 67-70. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92272016000100009

Dimieri., L. (2015). *Aspectos físicos de la visión Humana*. Buenos Aires : Depto. de Física; Universidad Nacional del Sur.

García Álvarez, Patricia Elena, & García Lozada, Diana. (2010). Factores asociados con el síndrome de visión por el uso de computador. *Investigaciones Andina*, *12* (20), 42-52.

García Martinez, V., & Fabila Echauri, M. (2014). Nomofilia vs. nomofobia, irrupción del teléfono móvil en las dimensiones de vida de los jóvenes. Un tema pendiente para los estudios en comunicación. *Razón y Palabra*, 682-696.

Icnirp. (2016). *Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300GHz)* [Internet]. Retrieved from http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf

Pacheco López, P., Estévez Ramos, R., Basset Machado, I., Barco González, A., & Sánchez Soto, J. (2016). Repercusión de los Dispositivos Móviles en la atención de enfermería a usuarios en estado crítico. *Revista Cubana De Enfermería, 32*(4). Recuperado de http://www.revenfermeria.sld.cu/index.php/enf/article/ view/891

Palos-Sánchez, Pedro Ramiro, Arenas-Márquez, Francisco J., & Aguayo-Camacho, Mariano. (2017). La adopción de la tecnología cloud computing (SaaS): efectos de la complejidad tecnológica vs formación y soporte. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (22), 89 105. https://dx.doi.org/10.17013/risti.22.89-105

Pedrero Pérez, E. R. (2012). Adicción o abuso del teléfono móvil. *Adicciones*, 139-152. Obtenido de http://www.adicciones.es/index.php/adicciones/article/ view/107

Ponce López, E., & Ponce Saldías, D., & Andresen Hernández, M. (2014). Efectos neurológicos por teléfonos celulares: revisión bibliográfica y modelos matemáticos. *Interciencia*, 39 (12), 843-849

Silva, D., Barros, W.R., Almeida, M.C., & Rêgo, M.A. (2015). Exposure to non-ionizing electromagnetic radiation from mobile telephony and the association with psychiatric symptoms. *Cadernos de Saúde Pública*, *31*(10), 2110-2126. https://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00104114

Who. (2016, Octubre 8). *www.who.int*. Retrieved from http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones

Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, A. L. (2009). *Física Universitaria con Fisica Moderna Vol. 2*. México: Pearson Educación.

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 03/05/2019
Aceitação/Acceptance: 20/07/2019

Efecto de la metodología lean six sigma en el tiempo de cambio de moldes en el área de termoformado foam: Caso Ecuador

Kleber Barcia Villacreses [1], Álvaro Verdezoto Dominguez [1], Jorge Abad-Morán [1]

kbarcia@espol.edu.ec, averdezo@espol.edu.ec, jabad@espol.edu.ec

[1] Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 494–506

Resumen: Este estudio presenta una estrategia para disminuir el tiempo de cambios de moldes en máquinas termoformadoras que utilizan como materia prima el foam. Se aplica la metodología DMAIC y se utilizan herramientas de calidad, técnicas estadísticas y técnicas lean, particularmente, en la fase de mejora se utiliza la técnica SMED, por medio de la cual se logra mejorar el tiempo de cambio de moldes. Se calcula el costo y se establecen métodos de control para asegurar que las mejoras aplicadas sean monitoreadas. Finalmente, se desarrollan procedimientos estándares, entrenamiento a los equipos de trabajo y se crean indicadores para controlar el desempeño del proceso con acciones de corrección y prevención.

Palabras-clave: DMAIC; SMED; cambios rápidos; productividad.

Lean six sigma methodology effects on the molds changing time in the foam thermoforming area: an ecuadorian case

Abstract: This study presents a strategy to reduce mold changes time in thermoforming machines that use foam as raw material. The DMAIC methodology is applied and in each phase quality tools, statistical techniques and lean techniques are used, particularly in the improvement phase where the SMED technique is proposed. SMED application improves dies change time. Costs are calculated; control methods are established in order to ensure that applied improvements are monitored. Finally, standard procedures and teams training are developed, indicators to control process performance are created with corrective and preventive actions.

Keywords*:* DMAIC; SMED; quick changeover; productivity.

1. Introducción

En el Ecuador, las empresas plásticas han crecido a través de los años en base a la demanda y evolución del mercado. Actualmente, existen muchas empresas plásticas a

nivel nacional, donde la competencia, para obtener una venta se basa principalmente, en la calidad, variedad, precio del producto y entregas a tiempo. La capacidad de producir conforme a la demanda es muy importante, por esta razón se requiere flexibilidad en la fabricación de los productos. Las industrias están aplicando métodos para mejorar sus procesos como lean o six sigma, logrando tener procesos productivos más estructurados y estandarizados.

Existe una alta demanda de productos descartables en el mercado nacional e internacional, en especial para la empresa "Plásticos S.A.", objeto de este estudio, la misma que no cumple los pedidos debido a su falta de capacidad operativa, la cual se encuentra al límite en el área de termoformado foam. El mayor tiempo no productivo de las 7 áreas de la compañía es el tiempo por cambio de moldes con un 7,34% del tiempo total. El área de termoformado foam representa el 2,85% del 7,34%. Esta área tiene 366 cambios de moldes anuales siendo el área con el mayor número de cambios de moldes y con el mayor tiempo en realizar esta actividad, un total de 1897 horas por año. Está conformada por 6 máquinas termoformadoras y posee 60 moldes operativos para fabricar distintos productos descartables. El tiempo estándar para cambios de moldes es de 4 horas. Desde inicios del año 2017 se ha incrementado el tiempo promedio de cambio de moldes hasta llegar a 5,18 horas en promedio, ver figura 1.

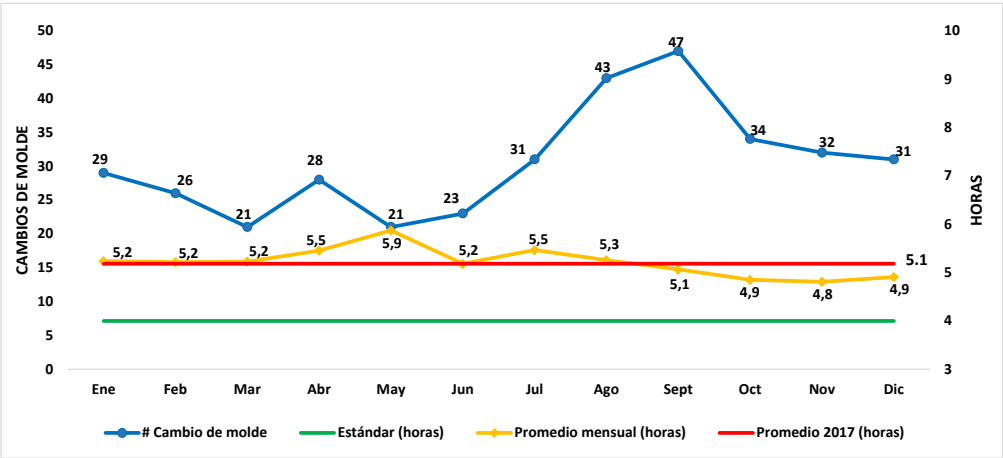


Figura 1 – Tiempo promedio y número de cambio de moldes en termoformado foam en el año 2017.

1.1. Objetivo general

Este estudio busca reducir la brecha (5,18 – 4,00) del tiempo de cambio de moldes en un 40% utilizando la metodología DMAIC y la técnica SMED en las máquinas termoformadoras foam de la empresa "Plásticos S.A." aumentando su productividad.

2. Marco teórico

2.1. Lean six sigma

Los enfoques lean deben proceder y coexistir con la aplicación de los métodos six sigma. La aplicación lean proporciona estabilidad en muchos procesos básicos. Una vez que los procesos son estables, gran parte de la variación debida a la intervención humana desaparece, y así los datos escogidos para apoyar las actividades six sigma son muchos más confiables y precisos (Añaguari, 2016). George M. L., (2003) explica por qué lean necesita six sigma y viceversa y como estos dos se benefician mutuamente. Hill, J., Thomas, A. J., Mason-Jones, R. K., & El-Kateb, S. (2018) demuestra que esta metodología tiene una amplia aplicación en diferentes ambientes. Lean no posee tres atributos claves por los cuales las mejoras realizadas se podrían perder: lean no prescribe explícitamente la cultura y la infraestructura necesarias para lograr y mantener los resultados; las necesidades críticas del cliente no son los objetivos principales; y, lean no reconoce el impacto de la variación. Así mismo, six sigma puede mejorar rápidamente los procesos mediante la ayuda lean ya que este le ofrece los siguientes beneficios: identifica el desperdicio; mejora de la velocidad de proceso o el tiempo de ciclo; usa herramientas de velocidad específicas; usa métodos para una acción rápida (Kaizen, DMAIC process); y, elimina más rápido junto con lean los pasos que no tienen valor agregado.

Lean también necesita DMAIC, debido a que la mayoría de las descripciones de las metodologías lean se sumergen en la fase de Mejora (en la terminología DMAIC), encaminado directamente a las soluciones y saltando sobre las fases Definir y Medir. Sin la fase Definir prescrita para comprender cuán grande es el problema, y una fase de medida para cuantificar el tamaño versus los recursos, las personas no obtienen un panorama amplio de los problemas para cumplir con los objetivos y pueden aplicar mejoras lean a desmedida terminando con los recursos que tienen a su disposición y sin poder cumplir con las metas planteadas (George, 2003; Zhu, Johnson, & Sarkis, 2018).

Jordan, E., Kušar, J., Rihar, L., & Berlec, T. (2019) analizan el cambio de una producción organizada de manera clásica a una producción lean six sigma. El artículo muestra un procedimiento basado en un portafolio de dos pasos: 1) análisis lean y 2) análisis lean six sigma para un sistema de producción. Los análisis se muestran en un caso de producción de cubiertas de refrigeración.

2.2. Herramientas six sigma

La empresa Motorola comenzó con Medir, Analizar, Mejorar y controlar. A estas cuatro fases se incluyó una más que es Definir, formándose la metodología llamada DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar (Shanin & Alinavaz, 2008). Tyagi & Kumar, (2017) muestra una propuesta para utilizar las herramientas que posee six sigma por cada fase de la metodología DMAIC.

Por otra parte, Brady & Allen, (2006) mencionan que no hay suficiente consenso para asociar técnicas en cada fase, porque puede parecer una restricción indeseable para los que utilicen six sigma. Uluskan, M. (2019) analiza 68 herramientas lean six sigma desde la perspectiva de implementación, necesidad y suficiencia, concluyendo que las más usadas son: histogramas de Pareto, lluvia de ideas, mapas de flujo de proceso, SIPOC,

cuadros de control, plan-do-check-act y diagrama de Ishikawa. Otras investigaciones realizadas años anteriores en China sobre las herramientas más utilizadas indican: análisis de Pareto, análisis de modo de falla y efecto y el diagrama de causa y efecto. (Banuelas, Johnson, Virakul, & Antony, 2009; Amaya, Tapla, Aguilar, Báez, & Ordorica, 2010).

2.3. Sistema SMED

Shingo divide la operación de preparación en dos partes: preparación interna y preparación externa (Shingo, 1985). Las tres etapas principales de SMED, se pueden resumir de la siguiente manera: etapa de separación de la preparación interna y externa; etapa de conversión de la preparación interna a preparación externa; y, etapa de agilizar todos los aspectos de la operación de preparación (Ulutas, 2011).

3. Implementación DMAIC

3.1. Definición

Para dar inicio a la implementación del DMAIC se declara el problema, dando respuestas al "que?, donde?, cuando?, que tanto? y como lo sé?", obteniendo:

Problema: Incremento del tiempo requerido para los cambios de moldes en las máquinas termoformadoras I1, I2, I3, I4, I5 y CO del área de termoformado foam durante los turnos 1, 2 y 3 desde el mes de enero del año 2017. Se observa un incremento en promedio de 1 hora del estándar que es 4 horas.

A continuación, se obtuvo un macro mapa general del cambio de moldes mediante el diagrama SIPOC con la finalidad de definir los límites y el alcance del proyecto, ver tabla 1.

Proveedores	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
Planificador	Montacargas	Hacer órdenes de cambio de moldes	Molde produciendo a tiempo o retrasado	Producción
Bodega de moldes	Tecle	Solicitar materia prima y suministro		
	Moldes	Solicitar molde a montar		
Bodega de materia prima y suministro	Materia prima	Transportación de materia prima y suministro		
	Suministro			
Coordinador de compras	Herramientas	Transportación de moldes		
Jefe de área termoformado	Líder de proceso	Charla de seguridad	Producto en óptimas condiciones	Calidad
		Desmontaje de molde		
Brigadista	Operador	Montaje de molde a producir		
Coordinador de seguridad	Ayudante	Calibración de proceso		
	Instrucciones	Aprobación de producto		
Bodega de repuestos	Parámetros	Primer producto bueno a producir	Operadores empacando	Planeación

Tabla 1 – Diagrama SIPOC del proceso de cambio de moldes de termoformado foam

Se estableció las prioridades y objetivos consistentes con las necesidades del cliente mediante la herramienta VOC (Voz del cliente). El método de investigación que se seleccionó para obtener la información de los clientes fue entrevistas individuales. Con las opiniones expresadas se desarrolló el Critical-To-Quality tree (CTQ) para clarificar el problema en estudio.

De esta forma se encontraron las mediciones (Y) que tienen mayor relación a las necesidades de los clientes (CTQ's): tiempo de cambio de molde; excesivos cambios de molde; y, disponibilidad del personal, traduciendo los hallazgos del VOC en una Y cuantificable como lo es el tiempo de cambio de molde, ver tabla 2.

Además, se determinó que el área de termoformado foam produce 206.648,53 Kg en promedio mensualmente. Cada máquina produce en promedio 74,94 Kg por hora y cada kilogramo de producto procesado tiene un costo de 2,77 dólares y un precio de venta de 4,50. La hora por kilo procesado en cada máquina está valorada en 128,87 dólares. Concluyendo que la empresa genera una pérdida económica de 4.648 dólares mensuales.

CTQ (Critical to quality)	Especificaciones técnicas
Tiempo estándar de cambio de moldes de termoformado foam	Tiempo máximo 4,25 horas 4,00 horas Tiempo mínimo 3,75 horas

Tabla 2 – Matriz de selección de indicadores.

3.2. Medición

La etapa de medición ayuda a entender el estado actual del proceso, utilizando los datos recolectados para realizar el análisis del proceso de cambio de moldes. Los datos de medición son del tipo continuo y cuantitativo; lo que se desea medir es el tiempo entre la parada de una máquina hasta que arranca con un nuevo producto. La empresa cuenta con un sistema propio estandarizado donde se registra todas las paras generales en horas que tiene cada máquina. De esta forma se obtuvo los datos de las 6 máquinas del área de termoformado foam para el estudio.

Para entender el detalle del proceso se realizó un diagrama de flujo como se muestra en la figura 2, el cual identificó las operaciones que contribuyen al proceso, las esperas entre procesos, documentos utilizados, los puntos de recolección de datos y la fábrica oculta. Todas las operaciones de este proceso se realizan con la máquina parada con excepción de la generación de órdenes de trabajo.

Los cálculos estadísticos indican una media del proceso es de 5,18 horas y la desviación estándar de 0,94 con un valor mínimo de 4,60 horas y un máximo de 9,50 horas, lo que describe con claridad la variabilidad del proceso. También se observa que el 25% (Q1) de los datos tienen valores menores de 4,72 horas y el 75% (Q3) de los datos tienen valores menores de 4,98 obteniendo un rango intercuartílico de 0.26 el cuál es la variabilidad del 50% de los datos descartando los valores extremos. Además, La mediana (Q2) es de 4,82 horas y es menor a la media, es decir que aproximadamente el 50% de los datos están

debajo de la media. Con este análisis se determina que el coeficiente de variación es de 18,11%. Existe sesgo en los datos y varios valores atípicos. Los diagramas de cajas y de intervalos del tiempo de los cambios de molde muestran que todas las máquinas poseen valores atípicos, en mayor cantidad las máquinas I3 e I4. Además, todas las máquinas poseen intervalos distintos y las máquinas I5 y CO poseen los intervalos más amplios de las 6 máquinas estudiadas.

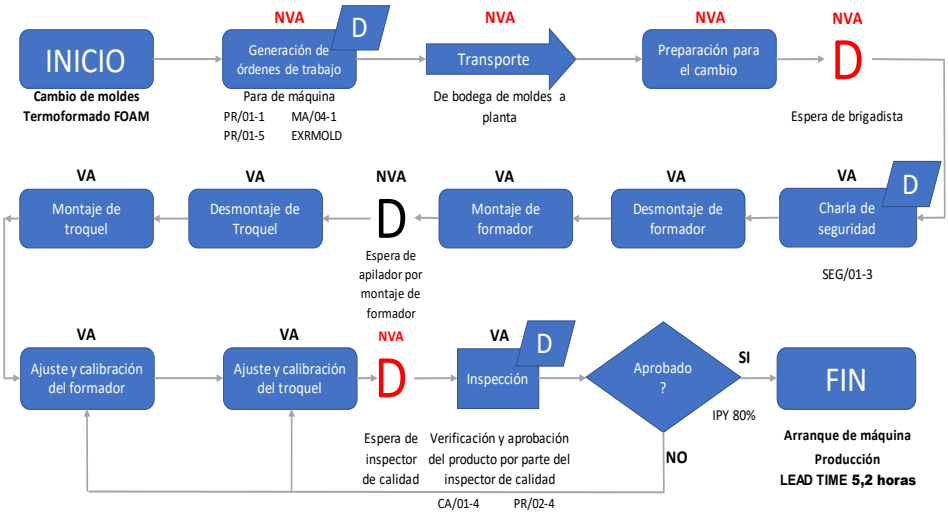


Figura 2 – Diagrama de flujo del proceso de cambio de moldes termoformado foam

Se puede llegar a la conclusión que el proceso de cambio de moldes trabaja por arriba del valor máximo permitido de 4,25 horas; por lo que se supondría que se encuentra mal establecido el rango del proceso o existen otros factores desconocidos que no permiten que el proceso se encuentre dentro de sus límites establecidos. Las cartas I-MR para cada máquina muestran que el proceso se encuentra fuera de control estadístico por lo que requiere acción inmediata, la figura 3 muestra el gráfico de control para la máquina I1.

El análisis de capacidad del proceso muestra los resultados de normalidad, Cp y Cpk indicando que es un proceso no adecuado para el trabajo. Además, el resultado del Ppk es menor a 1,5, por lo que no se puede decir que es un proceso six sigma. En resumen, se puede indicar que es un proceso no capaz de satisfacer la voz del cliente debido a que se encuentra fuera de las especificaciones requeridas.

3.3. Análisis

En esta etapa se realiza un análisis de las causas potenciales para posteriormente obtener las causas raíces del problema. Por medio de una reunión de lluvia de ideas se identificaron las causas del alto tiempo en el cambio de moldes mediante un diagrama Ishikawa; se agruparon las 14 causas por cada clasificación 6M para determinar las

que generan mayor impacto en el proceso con la ayuda de un diagrama de Pareto. Finalmente, se identificaron las siguientes causas potenciales por medio de un ranking de Causa y Efecto:

- Falta de capacitación.
- Falta de coordinación en la preparación de cambio de moldes.
- Herramientas de trabajo no apropiadas.
- Falta de estándar para el cambio de moldes.

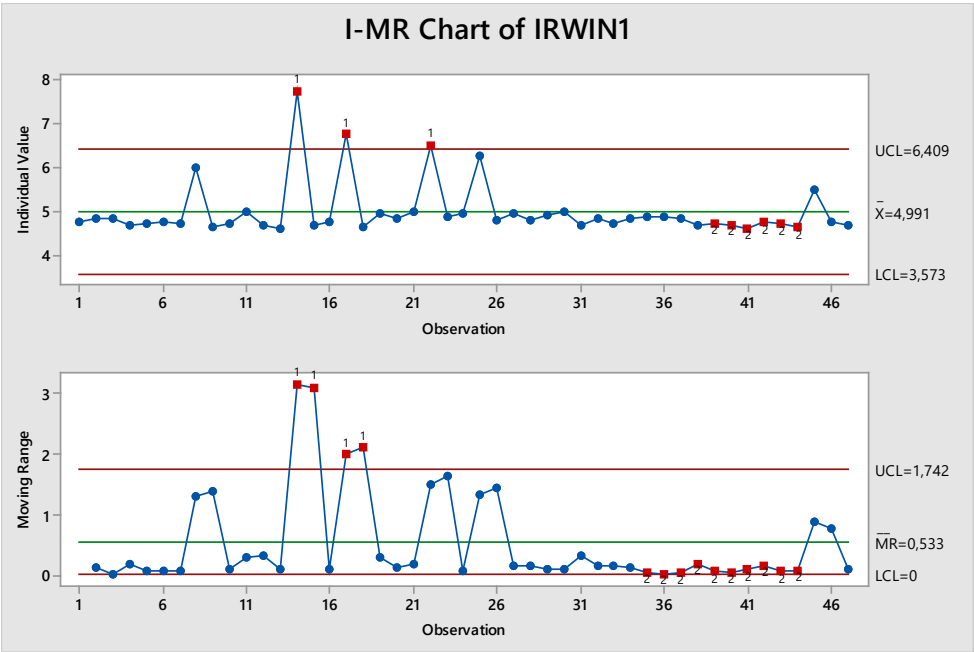


Figura 3 – Gráfico de control para cambio de moldes de la máquina I1

Una vez seleccionadas las causas potenciales se procedió a realizar el plan de verificación de causas que involucra métodos estadísticos, ver tabla 3, y se determinaron las causas raíces mediante un análisis de 5 por qué. Las causas raíces encontradas fueron:

- Falta de conocimiento específico en cambios de moldes para el área de termoformado foam.
- Ausencia de una política o procedimiento de verificación y reemplazo de herramientas de trabajo.
- Falta un equipo capacitado en cambios de moldes para los tres turnos.
- Ausencia de un método ágil que permita incrementar la rapidez del cambio de molde y que ayude a no afectar la calidad y disponibilidad de la máquina.

Causa potencial X	Teoría (relación de X con respecto a Y)	¿Cómo se verifica la causa?
Falta de estándar para el cambio de molde	Falta de un procedimiento estandarizado influye en el incremento del tiempo de los cambios de moldes	Prueba de hipótesis de diferencia de medias
Herramientas de trabajo no apropiadas	La herramienta improvisada o en mal estado influye en el incremento de tiempo de los cambios de moldes	Inspección visual con el líder del proceso
Falta de capacitación	La falta de capacitación de los operadores y ayudantes en el proceso influye en el incremento del tiempo de los cambios de moldes	Prueba de hipótesis de comparación de medias
Falta de coordinación en la preparación de cambio de moldes	La falta de control de las tareas asignadas al operador y ayudante influye en el incremento del tiempo de los cambios de moldes	Prueba de hipótesis de comparación de medias

Tabla 3 – Plan de verificación de datos

3.4. Mejora

Mediante una lluvia de ideas con los miembros del equipo, se creó una lista de soluciones potenciales en base a las causas raices. Estas soluciones fueron evaluadas y priorizadas, decidiendo implementar tres soluciones.

1. *Selección de personas para formar el equipo de cambio de moldes*: Se formó tres equipos debido a los tres turnos de trabajo. Cada equipo está conformado por cuatro personas, uno de ellos es el brigadista del área.
2. *Implementación del sistema SMED:* Se realiza un análisis de la situación de partida con un estudio de tiempos, con el objetivo de descomponer las actividades críticas en tareas puntuales que realizan los trabajadores. De este análisis se evidenció deficiencias en la preparación para el cambio de moldes; se observó tiempo de espera excesivo por falta de apilador para poder realizar las actividades de montaje y desmontaje del formador y troquel; y, se evidenció falta de organización por parte del equipo de cambio de molde, brigadista y supervisor de calidad para que aprueben la continuidad del cambio de molde y la aprobación del producto respectivamente.

Para determinar los tiempos que más influyen en el proceso de cambio de molde se desarrollaron dos gráficos de Pareto, obteniendo que las actividades de “montaje de formador” y “desmontaje de troquel” son las que generan los mayores tiempos y representan el 38,02% del tiempo total de preparación cambio. Además, dentro de la actividad “montaje del formador”, la tarea “traslado de lámina” representa el 5,10% del tiempo total de todas las tareas.

En la etapa de separación de las preparaciones interna y externa, se desarrolló un diagrama de clasificación de estas tareas. Se observa que la mayoría de las tareas se las realizan con la máquina parada (preparación interna) excepto las tareas de la actividad de “generar ordenes de trabajo”. Se tomaron acciones como: modificar y transformar las tareas internas en externas; eliminar tareas que no agreguen valor; y, realizar tareas en paralelo.

- La actividad “transportación de molde” pasó a una preparación externa reubicando los moldes y mejorando su tiempo.
- La actividad “preparación para el cambio de molde” pasó a ser externa con el uso de un porta-herramientas rodante que sirve como mesa de trabajo.
- La actividad “inspección de condiciones seguras” disminuyó su tiempo con la introducción del brigadista al grupo de trabajo.
- La tarea “traslado de rollos a máquina” pasa a externa y disminuyó su tiempo creando dos estaciones de recepción de rollos.
- Para eliminar la espera por la llegada del supervisor de calidad para la aprobación del producto, se creó una alarma que se genera cuando se realiza la salida del molde a montar mediante el sistema existente.
- La “limpieza del molde” se la convierte en una actividad externa.

Entre las mejoras realizadas al proceso se tiene las siguientes:

- Almacenamiento de moldes en zonas próximas a las máquinas.
- Uso de gabinete o carro portátil.
- Estandarización de altura de los troqueles.
- Estandarización de pernos fijadores de troqueles.
- Estandarización de herramientas.
- Creación de una guía centradora en molde formador.
- Calibración rápida de altura de la prensa de la máquina
- Operaciones en paralelo.

De los 304,37 minutos de tiempo total de cambio de molde se obtuvo una reducción del 40,98% que equivale a 124,76 minutos. Finalmente, un análisis financiero muestra que la inversión para implementar las mejoras propuestas es de 153.742,30 dólares que se recuperan en un periodo menor a 1 año.

3. *Estandarización de procedimientos y creación de formatos para control:* Se creó un procedimiento para cambio de moldes específico para el área de termoformado foam. Se desarrolló un instructivo de control de herramientas para cambio de moldes. También se realizó un check list de inventario de herramientas. Luego de establecer los nuevos procedimientos y formatos se procedió a capacitar a los tres equipos de cambio de moldes con la nueva metodología de cambio.

3.5. Control

En esta etapa final del DMAIC se desarrolla un plan de control, ver tabla 4 y plan de respuesta o reacción. Se crearon dos indicadores de cambio de moldes cuyo principal objetivo fue monitorear que cada cambio de molde cumpla con el tiempo estándar: índice de cambio de moldes y % de cumplimiento de cambio de moldes.

4. Resultados

Se logró obtener una reducción de tiempo, superior a lo planteado en el objetivo de este estudio. De enero a noviembre de 2018 el porcentaje de reducción de tiempo fue de 64%. Estableciendo el nuevo tiempo estándar de 1 hora con 48 minutos y un nuevo rango de tolerancia de 12 minutos.

Proceso: Cambio de moldes termoformado foam				
Proyecto: Reducción del tiempo de cambio de moldes. Área de termoformado foam			Líder de proyecto: Álvaro Verdezoto	
Propietario del proyectos: Jefe de división termoformado foam			Fecha: julio 2018	
Qué	**Cómo**	**Quién**	**Cuándo**	**Entregables**
Realizar los cambios de moldes en el tiempo establecido	Revisando los indicadores de cambio de molde en la reunión del proceso productivo	Jefe de división termoformado foam	Semanal	Acción correctiva / preventiva / proyecto
Cumplir que cada cambio de molde no ocupe más tiempo al establecido en el estándar	Revisando los indicadores de cambio de molde en la reunión de gerencia	Jefe de producción	Mensual	Acción correctiva / preventiva / proyecto
Cumplir con el inventario de herramientas para cambios de moldes	Verificando que el líder de proceso haya realizado la inspección y las correcciones según el instructivo BP/09	Jefe de división termoformado foam	Antes y al final de cada cambio de molde	Inventario de herramientas para cambio de moldes BP/09-1
Cumplir con el control de condiciones seguras de cambio de molde	Verificando que el brigadista realice la inspección de control	Coordinador de seguridad	Diario	Check list control de condiciones seguras en cambio de moldes y de tipo de artículo SI/05
Aplicación de procedimientos y estándares	Auditoría por parte del departamento de gestión	Coordinador de gestión de calidad	Semestral	Informe de auditoría
Re-entrenamiento del proceso de cambio de moldes	Incluir en el plan anual de capacitaciones. Se coordina con capital humano para programar re-entrenamiento	Coordinadora de selección y desarrollo	Anual	Registro de asistencia e capacitación interna RH/03-02

Tabla 4 – Plan de control para el cambio de molde en termoformado foam

La figura 4 muestra el decrecimiento del tiempo promedio de cambio de moldes mensualmente, llegando al nuevo tiempo estándar en el mes de agosto. Con los datos de los tiempos de los últimos 4 meses se realizaron las gráficas de control para todas las máquinas, donde no se detectaron cambios moderados ni grandes, lo cual indica que el proceso se encuentra bajo control estadístico.

Se realizó la prueba de normalidad observando un $p>0,05$, por lo tanto, las observaciones se distribuyen en forma normal en todas las máquinas. En el análisis de capacidad del proceso se obtuvo $Cp>1$, lo que indica que el proceso de cambio de moldes cumple con las especificaciones planteadas. Las conclusiones de los análisis de capacidad se muestran en la tabla 5.

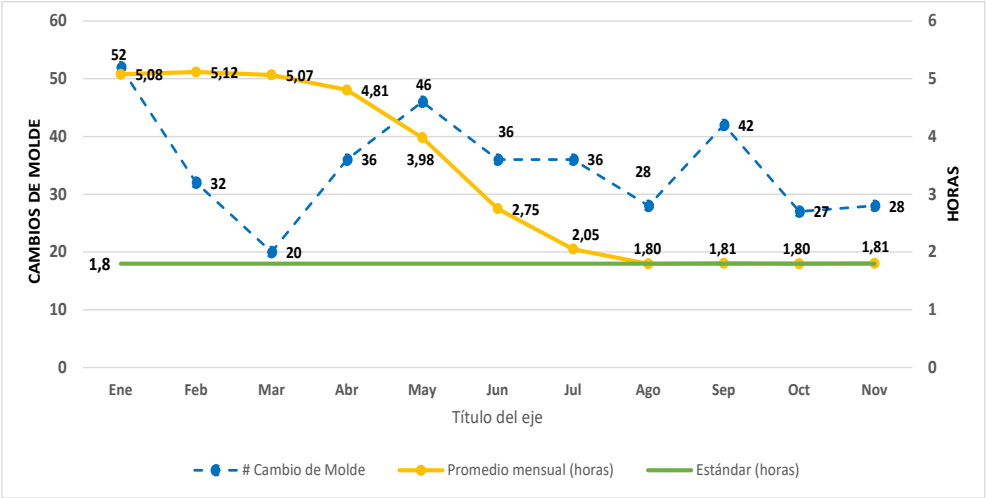


Figura 4 – Tiempo promedio de cambio de moldes y número de cambios de moldes desde enero hasta noviembre del 2018

Máquina	Cp	Cpk	Clase o categoría	Decisión
I1	1.35	1.30	Clase 1	Proceso adecuado o capaz
I2	2.35	2.28	Clase mundial	Calidad six sigma
I3	2.16	2.12	Clase mundial	Calidad six sigma
I4	1.28	1.27	Clase 2	Parcialmente adecuado
I5	1.61	1.13	Clase 1	Proceso adecuado o capaz
CO	1.67	1.41	Clase1	Proceso adecuado o capaz

Tabla 5 – Resumen de resultados del análisis de capacidad del proceso

5. Conclusiones

- Se redujo el tiempo de preparación incrementando la producción.
- De acuerdo a los resultados, la aplicación lean six sigma, haciendo un enfoque especial a la metodología DMAIC y el sistema SMED, es altamente eficiente para el desarrollo de un proyecto estructurado.
- La aplicación lean permitió reducir los pasos de un proceso incrementado la flexibilidad de la fabricación. Six sigma ayudó a mejorar la calidad de los pasos con valor agregado con la aplicación de herramientas estadísticas. Estas dos herramientas amplían la visión para realizar un análisis más profundo del problema con el fin de encontrar las variables que inciden en las pérdidas del proceso, planteando mejoras que generen un impacto sustancial en el proceso. La combinación de ambas impulsa la calidad, velocidad y el costo simultáneamente.

- Después de la implementación de las mejoras, se llega a tener un proceso capaz de satisfacer la voz del cliente y capaz de mantenerse dentro de las especificaciones requeridas con respecto a la variabilidad.
- La inversión inicial para la aplicación de las mejoras fue de 153.742 dólares y el ahorro anual estimado es de 163.260 dólares. Se obtuvo un VAN de 286.362 dólares y un TIR del 78% con un periodo de recuperación de menos de 1 año. Se recupera la inversión inicial del proyecto y se obtiene la rentabilidad que como mínimo se esperaba (TMAR), en este caso 10,21%. Existe un remanente de 286.362 dólares que representa la holgura financiera del proyecto. Por lo tanto, el proyecto resulta económicamente factible bajo los supuestos de demanda y de crecimiento considerados.
- La selección y formación del equipo de cambio de moldes apoyaron a obtener los resultados esperados.
- Se crearon dos indicadores para el control del tiempo de cambio de moldes, los cuales apoyan al plan de control general que también fue desarrollado para el proceso de cambio de moldes.
- Una pieza fundamental para lograr que proyectos de este tipo tengan éxito es el apoyo de la alta gerencia respaldando el trabajo del equipo y generando compromiso de cada uno de los involucrados, líderes, operadores y ayudantes del área.

6. Recomendaciones

- Mantener el plan de control como un documento vivo dinámico, actualizándolo si se agregan otros controles al proceso.
- Identificar operadores y ayudantes con buena actitud, que tengan destrezas y conocimientos de herramientas mecánicas y de calibración para invitarlos primeramente a observar y luego a entrenarse para participar en los cambios de moldes. De esta forma tener un back up de personas que puedan reemplazar, por cualquier motivo, a las personas del equipo de cambio de moldes.
- Capacitar al personal de otras áreas sobre herramientas de mejora continua especialmente en sistema SMED y metodología DMAIC con el fin de seguir implementando mejoras en cambios de moldes en otros procesos de la empresa.
- Realizar un estudio para desarrollar la adaptación de un segundo rollo de materia prima en los bobinadores de la máquina termoformadora para ganar continuidad en el proceso de producción.

Referencias

Amaya, G., Tapla, D., Aguilar , J., Báez, Y., & Ordorica, J. (2010). Desarrollo de Seis Sigma: Una Visión Global. *En K. Rangel, & J. Palafox (Presidencia), Memorias del IV congreso internacional de ingeniería vértice 2010*. Medellin, Colombia.

Añaguari, M. (2016). *Integración Lean Manufacturing y Seis Sigma. Aplicación para Pymes (Tesis de maestría)*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Banuelas, R., Johnson, M., Virakul, T., & Antony, J. (2009). Assessing the role of Six sigma in a supply chain: an exploratory study in the UK manufacturing organisations. *International journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 5*(4), 380-397.

Brady, J., & Allen, T. (2006). Six Sigma Literature: A Review and Agenda for future research. *Quality and Reliability Engineering International, 22*(3), 335-367.

George, M. L. (2003). *Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed & Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions*. New York, United States: McGraw-Hill.

Hill, J., Thomas, A. J., Mason-Jones, R. K., & El-Kateb, S. (2018) The implementation of a Lean Six Sigma framework to enhance operational performance in an MRO facility. *Production & Manufacturing Research*, 6:1, 26-48, DOI: 10.1080/21693277.2017.1417179

Jordan, E., Kušar, J., Rihar, L., & Berlec, T. (2019). Portfolio analysis of a Lean Six Sigma production process. *Central European Journal of Operations Research*, Springer, vol. 27(3), pages 797-813, DOI: 10.1007/s10100-019-00613-4

Shanin, A., & Alinavaz, M. (2008). Integrative approaches and frameworks of Lean Six Sigma: A literature perspective. *International Journal of Process Management & Benchmarking, 2*(4), 323–337.

Shigeo, S. (1985). *A revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge: Productivity Press.

Tyagi, P., & Kumar, S. (2017). A Six Sigma Approach to Manufacturing Industry. *International Journal of Advanced Engineering Research and Technology (IJAERT), 5*(11), 865–868.

Uluskan, M. (2019) Analysis of Lean Six Sigma tools from a multidimensional perspective. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30:9-10, 1167–1188, DOI: 10.1080/14783363.2017.1360134

Ulutas, B. (2011). An application of SMED Methodology. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, 5*(7), 1194–1197.

Zhu, Q., Johnson, S., & Sarkis, J. (2018) Lean six sigma and environmental sustainability: a hospital perspective. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 19:1, 25–41, DOI: 10.1080/16258312.2018.1426339

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 16/06/2019
Aceitação/Acceptance: 24/09/2019

Aplicación de la simulación de eventos discretos a la mejora de la eficacia y la eficiencia de las operaciones de un restaurante

Ileana G. Pérez Vergara[1], William Monzón Robles[2], Claudia Peña Montoya[3], Josefina M. de Llano Feliú[4], Christian Llerena[5]

igperez@usbcali.edu.co, wmonzonr88@gmail.com, ccpena@uao.edu.co,

josefina.dellano@campusucc.edu.co, cllerena@uees.edu.ec

[1] Universidad de San Buenaventura-Cali, CP 760001, Cali, Colombia.

[2] Universidad Tecnológica de la Habana, CP 11500, La Habana, Cuba.

[3] Universidad Autónoma de Occidente, CP 760001, Cali, Colombia.

[4] Universidad Cooperativa de Colombia, CP 760001, Cali, Colombia.

[5] Universidad de Especialidades Espíritu Santo, CP 0901952, Samborondón, Ecuador.

Pages: 507–519

Resumen: Para las empresas contemporáneas, resulta imprescindible la medición de los niveles de servicio y mantener un mejoramiento continuo en el diseño y la gestión de operaciones. Las empresas de servicio siguen creciendo y entre ellas, los restaurantes, para los que encontrar una configuración que proporcione un balance entre su eficacia y su eficiencia resulta complejo por la variedad de productos, formas en que estructuran sus operaciones y el comportamiento aleatorio de los tiempos de las actividades involucradas. Lo anterior impacta en la calidad del servicio, por lo que su estudio es una necesidad para su competitividad. Este trabajo muestra un modelo que integra la simulación discreta con el análisis de decisión multicriterio, para priorizar soluciones con base en criterios definidos y proponer la mejor alternativa para la configuración de las operaciones de logística interna de un restaurante, impactando en su eficacia y su eficiencia.

Palabras-clave: procesos claves de un restaurante; simulación discreta; jerarquía analítica; logística interna; productividad.

Application of simulation of discrete events to improve the effectiveness and efficiency of restaurant operations

Abstract: For contemporary companies, it is essential to measure service levels and maintain a continuous improvement in the design and management of operations. The service companies continue to grow and among them, the restaurants, for which finding a configuration that provides a balance between its effectiveness and its efficiency is complex due to the variety of products, ways in which they structure their operations and the random behavior of the times of the activities involved.

The complexity of these aspects impacts on the quality of the service. So, its study is a necessity for improving competitiveness. This work shows a model that integrates discrete simulation with multicriteria decision analysis to prioritize solutions based on defined criteria and propose the best alternative for the configuration of a restaurant's internal logistics operations, impacting its efficiency and effectiveness.

Keywords: key processes of a restaurant; discrete simulation; analytical hierarchy; internal logistics; productivity.

1. Introducción

La baja rentabilidad operativa de las empresas de restaurantes y un entorno de mercado altamente competitivo son desafíos crónicos sin signos de mejora (DeFranco & Lattin, 2006). Algunos autores exponen la poca atención que se le brinda al manejo de los costos en este tipo de negocios (Kim, 2007; Park & Jang, 2014 otros autores como Namkung & Jang (2007), Kim & Kim (2009), Tsaur, Luoh & Syue (2015), Peng, Chen & Hung (2017) consideran que el esfuerzo por la mejora se debe dedicar a comprender la relación entre la calidad de los alimentos y del servicio, la satisfacción del cliente y el desempeño. En este tipo de servicios la eficacia se define como el grado en que se realizan las actividades y se alcanzan los resultados planificados, y la eficiencia como la relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados (Ramos et al., 2012)

En opinión de los autores, la complejidad de las relaciones que se establecen en este tipo de sistemas, la aleatoriedad del comportamiento de numerosas variables, los recursos disponibles, la forma en que se desarrollan las operaciones, la estructura y diseño del servicio, y el carácter multidimensional de la evaluación del desempeño, hace complejo el estudio de este tipo de sistemas.

El análisis de la cadena de valor (VCA por sus siglas en inglés), que identifica actividades primarias y de apoyo, se propone como un marco adecuado para identificar brechas y aumentar la competitividad de las empresas al mejorar el rendimiento de sus actividades (Porter, 1985). Desde su desarrollo, el VCA ha sido ampliamente adoptado en la literatura de gestión; sin embargo, los estudios de VCA en la industria de restaurantes han sido limitados (Sharma, Moon & Strohbehn, 2014).

Un enfoque más actual, es el de logística interna, definido para procesos de manufactura como la planificación, la ejecución y el control del flujo físico y de información interna de la empresa, buscando la optimización de los recursos, procesos y servicios con la mayor economía posible (Pinheiro de Lima , Breval, Rodríguez Taboada & Follmann, 2017). Una integración de la cadena de valor con procesos de la logística interna es propuesta por Arimani (2013). La misma debe proporcionar la definición de los procesos, los requerimientos de los sistemas y su medición constante, así como facilitar la modelización y la simulación de estos como herramienta de planificación (González , 2018). Aunque en la literatura no se aprecian definiciones similares para sistemas de servicio, este concepto también puede emplearse a procesos de este tipo de sistemas, viéndose en la dimensión de la coordinación de las operaciones que impactan de manera directa en el valor que se genera al cliente.

Según Calaña (2009), los procesos relacionados con los servicios de un restaurante son: compra, recepción almacenamiento, distribución, elaboración culinaria y servicio gastronómico. Por las actividades que se incluyen en cada uno de estos procesos, se puede afirmar que los

procesos de elaboración culinaria y de servicio gastronómico son considerados los que mayor valor aportan a la VCA y pueden verse como parte esencial de la logística interna.

La elaboración culinaria es el proceso productivo mediante el cual los recursos materiales son transformados en elaboraciones diferentes que serán brindadas a los clientes a través del servicio gastronómico, que es el proceso que relaciona a los elementos de oferta, personal e instalación (Sharma , Moon & Strohbehn, 2014).

Desde el punto de vista de la logística interna, en este tipo de sistema, se establece un intercambio de información y flujo material entre ambos procesos. Para el cliente, el servicio brindado en un restaurante inicia cuando genera el pedido y concluye cuando se ha completado el mismo, incluido su cobro. Sin embargo, para brindar el servicio, se genera un gran conjunto de relaciones entre los procesos y una competencia por el uso de los recursos de que se dispone, cuyos resultados impactan tanto en la eficacia del sistema, medida de manera externa por los clientes a través de variables cuantitativas tales como el tiempo de atención, así como en la eficiencia, definida como una medición del desempeño interno valorando la forma en que son utilizados los recursos.

La actividad principal para este tipo de organizaciones es la generación de servicios y se ha evidenciado que la gestión logística competente es vital para mantener sus rendimientos. Por lo anterior, el diagnóstico, la simulación y la evaluación de los procesos que son claves para el desarrollo de una organización que ofrece servicios, son de alta prioridad (Santos, 2011). En estos casos, la prestación de servicios se debe centrar en el diseño de las operaciones, fortaleciendo las actividades de planeación de capacidades y sincronización de actividades y procesos, siendo esta una forma eficaz de enfrentar las variaciones de la demanda y encontrar un equilibrio entre esta y la capacidad para brindar el servicio.

El uso de modelos de simulación puede reemplazar la realización de experimentos en sistemas reales (Banks, 2001; Law, 2006). Ayudada por el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones, la simulación se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas, debido a sus potencialidades para estudiar y experimentar las complejas situaciones que ocurren en el interior de un sistema dado, ya sea una empresa, industria o un subsistema. De este modo, se estudian las alternativas cuyos resultados proporcionan, en poco tiempo, información del desempeño, lo que reduce significativamente los costos, el tiempo y el riesgo asociado en el proceso de toma de decisiones (Pérez, 2001). La simulación es una metodología que se ha popularizado en los últimos años y se emplea en la mejora de diversos procesos logísticos, productivos y de servicios (Guerrero & Henriques, 2014).

En la literatura se encuentran diversas aplicaciones de modelos matemáticos; por ejemplo Andrew, Lambert & Lambert (1986), revisan el uso y el papel de la simulación como una técnica de modelado de decisiones en la industria de la hospitalidad. Asimismo, Hwang & Lambert (2008), proponen el uso de modelos de simulación para estudiar los tiempos de espera en relación con los recursos asociados a los procesos. Pullman & Rodgers (2010), plantean que para el análisis de las capacidades se aprecia el uso creativo de modelos mixtos, como los que integran modelos de preferencias de visitantes e investigación de operaciones, programación lineal y modelos de simulación.

Adicionalmente, De Vries , Roy & De Koster (2018) estudian la relación entre los tiempos de espera y los ingresos resultantes en todo el sistema, emplean modelos de simulación y analizan las relaciones con la cantidad de mesas disponibles; Galvão et al., (2018) citan

entre los métodos de simulación más destacados para el estudio del comportamiento de sistemas discretos a la simulación discreta de conjunto con la simulación basada en agentes y la dinámica de sistemas y Shimmura, Fujiib & Kaihara (2017), proponen un análisis por simulación para el rediseño de la cocina de un restaurante en Japón que incluye como variable la carga de trabajo de los empleados.

En la actualidad, el desempeño de los procesos es medido con diversos criterios que por lo general se encuentran en conflicto; por lo que, si el estudio involucra la identificación de la mejor alternativa de desempeño del proceso, una vez se disponga de los resultados de las simulaciones, se deberá emplear una técnica de análisis de decisión multicriterio. Aunque existen numerosas técnicas para la toma de decisiones en presencia de múltiples criterios, se destaca el método analítico jerárquico (AHP por sus siglas inglés) propuesto por Saaty (1990), debido a sus diversos usos. En este método no se reconoce la superioridad de un criterio sobre otro, más bien se recomienda en función de las características del problema y las preferencias del decisor.

El objetivo de este trabajo es proponer y aplicar en un caso estudio un modelo que integra la simulación discreta con el análisis de decisión multicriterio, para mejorar el rendimiento operacional de los procesos e incrementar el nivel de servicio y satisfacción de los clientes a través de priorizar soluciones con base en criterios definidos y proponer la mejor alternativa para la configuración de las operaciones de logística interna de un restaurante, impactando en su eficacia y su eficiencia

2. Metodología

Para realizar el estudio, se estructuró un modelo de entrada salida, que se muestra en la figura 1, en la que X"s, se refiere a las variables de entrada (variables de decisión), Y"s a las variables de respuesta obtenidas de las corridas de simulación, a partir de las que se miden la eficiencia y la eficacia. Posteriormente se estructura la jerarquía del problema multicriterio, en la que para cada alternativa se emplea como criterios las Y"s obtenidas de las corridas de simulación y de esa forma obtener el ordenamiento de las alternativas a partir del vector de posicionamiento global y apoyar el proceso de toma de decisiones.

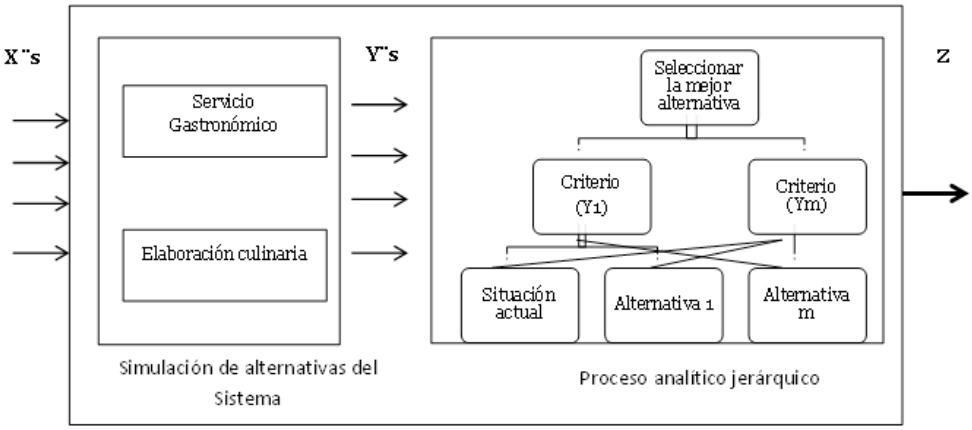


Figura 1 – Modelo propuesto

Para la implementación del modelo se propuso un procedimiento que tiene lugar en 9 etapas, cuya descripción y sus objetivos se muestran en la Tabla 1.

Etapa	Objetivo
Descripción del problema	Señalar las características del problema y sus causas.
Definición de expertos y variables de estudio	Involucrar personal de los procesos elegidos en el alcance con conocimientos, interés y disposición para participar del estudio. Definir los criterios con base en los requerimientos de desempeño de sus procesos (variables de salida de la simulación).
Recogida y análisis de datos	Recopilar datos referentes al comportamiento de las variables involucradas, sean de entrada y/o de procesos. Diseñar el muestreo.
Propuesta de alternativas de mejora	Proponer alternativas de mejora considerando los criterios definidos y las causas identificadas.
Elaboración y validación del modelo de simulación	Construir y ejecutar los modelos de simulación, según la experticia del personal involucrado considerando los software de simulación disponibles.
Diseño de los experimentos y ejecución de la simulación	Calcular el número de réplicas necesarias (n) para las variables seleccionadas. Medir el desempeño del sistema mediante resultados de las corridas de los modelos de simulación.
Conformar el problema de decisión multicriterio y Ordenar y/ o seleccionar alternativas	Estructurar la jerarquía del problema multicriterio, realizar el ordenamiento de las alternativas mediante la comparación pareada (Saaty , 1990) Uso del software para dar soporte al método AHP (Heredia, 2004).
Análisis de resultados	Tomar decisiones basadas en el vector de posicionamiento global (Saaty , 1990)
Medición de la efectividad del proceso	Comparar el comportamiento de los valores de las variables, relacionadas con la eficacia y la eficiencia del servicio, obtenidos de las alternativas seleccionadas vs los valores en la situación actual

Tabla 1 – Descripción de etapas del procedimiento

3. Resultados

El restaurante ha identificado falencias en su eficacia, medido a través de los tiempos de servicio y de espera de los clientes, así como en su eficiencia, medido a través del uso de los recursos involucrados en los procesos de servicios gastronómicos y de elaboración culinaria.

3.1. Descripción del proceso

El restaurante presta servicios gastronómicos en 3 salones (A, B y C), de manera independiente, teniendo en común el proceso de elaboración culinaria en la cocina central. El horario de trabajo es de 11 horas continuas, identificándose puntos de mayor demanda los días viernes a domingo en el horario de 12.00 m a 4.00 pm.

Un análisis cualitativo, permitió identificar causas asociadas con: la distribución física, que es abierta y genera desplazamientos de los empleados entre las áreas, problemas con el flujo y la organización del trabajo.

3.2. Definición de expertos y variables de respuesta

Expertos de ambos procesos incluidos, el gerente, directivos y trabajadores, definieron los criterios de desempeño del sistema, que según la importancia concedida fueron:

1. Porcentaje de utilización de los recursos (relación entre el tiempo real trabajado y el tiempo de trabajo planificado)
2. Cantidad de clientes atendidos/unidad de tiempo
3. Tiempo promedio que dura el servicio (período de tiempo comprendido desde que el cliente ocupa una mesa hasta que se retira de la instalación)
4. Tiempo promedio de espera por cliente (período de tiempo comprendido desde que el cliente llega a la instalación hasta que ocupa una mesa)

3.3. Recogida y análisis de datos

Se recopiló información a partir de la realización de un muestreo, se identificaron 18 variables de comportamiento aleatorio. Para el procesamiento de los datos, se utilizó la opción Input-Analyzer de ARENA (Kelton, Sadowski & Sturrock, 2008), realizándose pruebas de bondad de ajuste, considerando un nivel de confianza del 95%, con un α=0,05. Asimismo, se identificaron otras variables de comportamiento discreto como tamaño de grupos, demanda por tipo de platos, entre otras, cuyo comportamiento fue estudiado a partir de datos históricos y por mediciones en el periodo de recogida de información.

3.4. Propuesta de alternativas de mejora

Por la similitud en las operaciones y la cercanía de los salones A y B, se propusieron cuatro alternativas y otras dos alternativas para el salón C. Las propuestas de mejoras se fundamentaron en el rediseño del trabajo y la distribución física del área de la cocina y para el servicio gastronómico, se consideraron la redistribución de la carga de trabajo entre los empleados y el cálculo de recursos necesarios, según los cargos del personal. En el caso de los recursos materiales, se calculó número fijo de mesas. La descripción de las alternativas se muestra en la Tabla 2.

Alternativas para Salones A y B				
Alternativa	**Descripción**	**Recursos Asociados**		
		Personal	**Cantidad**	**Mesas**
Alter 1	Aumentar la cantidad de trabajadores según la cantidad de recursos establecidos	Dependientes de Salón	6	38
		Dependientes de Cocina	4	
		Dependientes de Mochila[1]	4	
Alter 2	Redistribuir la carga de trabajo según tipo de empleado, considerando la cantidad de recursos asociados y la coordinación de la logística interna.	Dependientes de Salón	5	38
		Dependientes de Cocina	2	
		Dependientes de Mochila	4	

[1] Cargo de personal de servicio gastronómico

Alter 3	Cambiar el enfoque funcional existente, integrando los cargos de mochila y dependientes de salón en uno solo, considerando la coordinación de la logística interna	Dependientes de Salón	6	38
		Dependientes de Cocina	2	
Alter 4	Integrar los cargos de mochila y dependientes de cocina, realizando este último las tareas de mochila, considerando la coordinación de la logística interna	Dependientes de Salón	6	38
		Dependientes de Cocina	2	
Alternativas para el Salón C				
Alter 1	Integrar los cargos de mochila y dependiente de salón en uno solo cargo, considerando la coordinación de la logística interna.	Dependientes de Salón	3	38
		Dependientes de Cocina	1	
Alter 2	Distribuir la cantidad total de trabajadores por cargo, considerando la coordinación de la logística interna.	Dependientes de Salón	2	38
		Dependientes de Cocina	2	

Tabla 2 – Alternativas para la mejora

3.5. Elaboración y validación del modelo de simulación

Para la construcción y ejecución de los modelos de simulación se empleó el software ARENA por su facilidad para modelar e integrarse con las tecnologías de Microsoft (Kelton, Sadowski & Sturrock, 2008). Para validar el modelo, se emplearon las variables tiempo promedio de servicio y cantidad de clientes atendidos. La comparación se hizo a partir de los valores observados durante el muestreo de la situación actual y los resultados de las corridas del modelo de simulación. Se realizó una prueba de hipótesis para la comparación de medias de dos muestras y a partir del *p*-valor obtenido que fue mayor que el $\alpha=0.05$, se aceptó la hipótesis nula considerándose que no había diferencias estadísticas entre las medias de ambas muestras, para ninguno de los tres salones, lo que permitió validar el modelo.

3.6. Diseño de los experimentos y ejecución de la simulación

Para el cálculo del número de corridas de simulación, se aplicó la expresión 1, (Kelton, Sadowski & Sturrock, 2008)

$$n = n_o * (H_r/H_d)^2 \quad (1)$$

dónde:

n_o: es número de réplicas iniciales que se le introduce al modelo.

H_r: es el intervalo requerido que se estima a partir del “Half-width” (semiamplitud del Intervalo de confianza) con la salida del simulador.

H_d: es la semiamplitud deseada del intervalo de confianza.

Para garantizar la representatividad estadística de los resultados, se realizaron corridas de tamaño 102, tomando en consideración la variabilidad obtenida en los tamaños de la muestra calculados para las variables individuales. Los resultados obtenidos para las alternativas de los salones A y B, se muestran en la Tabla 3.

Variables	**Alternativas Salones A y B**									
	Situación Actual		**Alter. 1**		**Alter.2**		**Alter. 3**		**Alter. 4**	
	A	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**	**A**	**B**
Tiempo promedio de espera (min)	6.9844		0.7816		0.9457		0.7587		0.2059	
Tiempo promedio que dura el servicio (min)	61.249	58.53	58.5	54.5	58.81	54.01	59.238	53.35	55.67	57.39
Clientes atendidos (und)	142	125	151	135	157	150	152	148	155	148
Utilización de los recursos (%)										
Dependiente de Salón	65.89	63.84	46.09	45.26	47.08	49.13	52.58	53.35	55.67	57.39
Dependiente de Cocina	79.21	70.44	80.38	75.22	43.92	42.31	42.81	41.09	71.56	73.44
Dependiente de Mochila	58.65	56.92	30.61	31.09	61.27	64.45				
Cajero	71.13	65.38	74.17	71.1	73.44	74.06	76.67	75.89	75.11	72.32

Tabla 3 – Resultados de los modelos de simulación para los salones A y B

Los valores obtenidos evidencian que no hay una alternativa mejor que las otras para todas las variables, por ejemplo para la variable tiempo promedio de espera, el menor valor se obtiene en la alternativa 4 con un tiempo promedio de 0.20, mientras que para la cantidad de clientes atendidos los mejores valores lo muestra la alternativa 2. En relación a la eficiencia, las variables asociadas con el uso de los recursos de personal; para los cargos Dependiente de Salón y Dependiente de cocina, la situación actual es la que mejor comportamiento exhibe, sin embargo, para el cajero la alternativa que ofrece mejor comportamiento es la 3. Asimismo, se corrieron los modelos para la situación actual y las dos alternativas *para el salón C.*

3.7. Ordenar y/ o seleccionar alternativas

Al no obtenerse una solución que fuera la mejor para todos los criterios, se modeló el problema como un problema de decisión en presencia de múltiples criterios. Se conformó la jerarquía tomándose como criterios las cuatro variables de salida incluidas en el estudio y como alternativas, la situación actual y cada una de las alternativas incluidas en el análisis, tanto para los salones A y B como para el salón C. Mediante el uso del

software jerarquías (Heredia, 2004), se obtuvo un índice de inconsistencia de 0.035, valor que se encuentra por debajo del valor 0.1 propuesto por Saaty, lo que evidencia que existe consistencia en la forma que se han expresado las preferencias.

3.8. Análisis de resultados

Los resultados para la selección de la mejor alternativa para los salones A y B se muestran en la figura 2, el valor que aparece sobre cada barra representa el que corresponde a la alternativa en el vector de prioridad global.

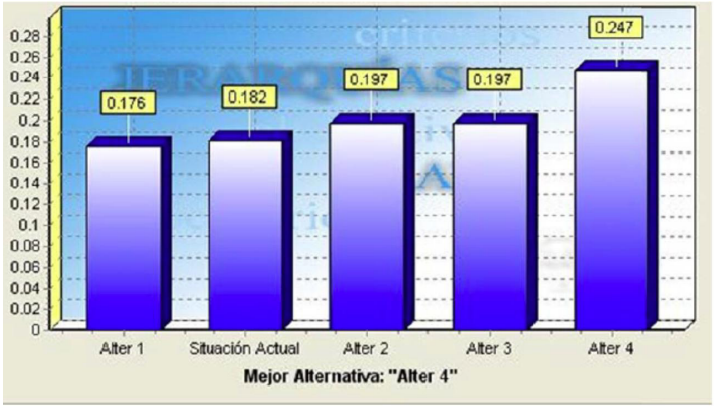


Figura 2 – Resultados de la aplicación del AHP a las alternativas de los salones A y B

Se puede observar que la alternativa 4 resultó ser la de mejor valor del vector de prioridad global con 0.247. En ella se evidenciaron mejoras en 3 de los 4 indicadores analizados con relación a la situación actual: el tiempo promedio de espera disminuyó en 97.051%, el tiempo promedio de servicio disminuyó en 5.602% y la cantidad total de clientes atendidos aumentó en 13.858%.

3.9. Medición de la efectividad

Se compararon los valores de las variables estudiadas de la situación actual y los obtenidos para cada alternativa mediante las corridas de los modelos de simulación. Los resultados obtenidos para los salones A y B se muestran en la Tabla 4.

Variables	**Alternativas Salones A y B**				
	Sit. Act.		**Alter 4**		**Variación (%)**
	A	B	A	B	
Tiempo promedio de espera (min)	6.9844		0.2059		-97.055

Variables	Alternativas Salones A y B				
	Sit. Act.		Alter 4		Variación (%)
	A	B	A	B	
Tiempo promedio que dura el servicio (min)	61.249	58.53	55.67	57.39	-5.602
Clientes atendidos (und)	142	125	155	148	13.858
Utilización de los recursos (%)					
Dependiente de Salón	65.89	63.84	55.67	57.39	
Dependiente de cocina	79.21	70.44	71.56	73.44	
Dependiente de Mochila	58.65	56.92			
Cajero	71.13	65.38	75.11	72.32	
% de utilización promedio de los trabajadores					-1.764

Tabla 4 – Comparación del desempeño del sistema actual vs la alternativa 4 Salones A y B

Los indicadores de eficacia mostraron una mejora significativa al decrecer los tiempos medios de espera y de servicio, mientras que los indicadores de eficiencia evidencian un aumento del 13.858 % de la cantidad de clientes atendidos con una pequeña reducción no significativa en la utilización de los recursos.

4. Conclusiones

El modelo propuesto, mostró su efectividad en la aplicación a un caso real, al obtener mejoras en la eficacia y la eficiencia de las operaciones de un restaurante.

El uso de la simulación discreta permitió el estudio de la logística interna de un restaurante, evidenciándose el impacto de los cambios, en los indicadores de eficiencia y eficacia del sistema.

La inclusión en las alternativas estudiadas de cambios conjuntos en los procesos de servicio gastronómico y elaboración culinaria brindan a la organización perspectivas para mejorar la planeación de las operaciones y establecer una adecuada coordinación entre los procesos, a través de la sensibilidad que puede incluirse en los modelos.

La combinación de los resultados obtenidos con los modelos de simulación con el AHP, permitió integrar el carácter multicriterial para la evaluación de las alternativas y encontrar de manera efectiva las mejores para apoyar el proceso de toma de decisiones en la planificación de las operaciones logísticas de un restaurante.

Referencias

Kim, A., Dalbor, M. C., & Feinstein, A. H. (2007). An examination of cost management behavior in small restaurant firms. *International Journal of Hospitality Management*, 26(2), 435-452. doi: 10.1016/j.ijhm.2006.09.002

Andrew, W., Lambert, C., & Lambert, J. (1986). Modelado de decisiones usando simulación: una perspectiva de hospitalidad. *International Journal of hospitality Management*, 47-54.

Arimani, L. (2013). *La cadena de valor* [Internet]. Recuperado de https://www.luisarimany.com/la-cadena-de-valor/

Banks, C. (2001). *Discrete-Event System Simulation*. (3 Ed.). Prentice Hall.

Calaña, C. (2009). *Gestión de la calidad e inocuidad alimentaria en restauración* [Internet]. Recuperado de http://aybconsultores.blogspot.com/2010/03/gestion-de-la-calidad-e-inocuidad.html

De Vries, J., Roy, D., & De Koster, R. (2018). Worth the wait? How restaurant waiting time influences customer behavior and revenue. *Journal of Operations Management*, *63*, 59-78. doi: 10.1016/j.jom.2018.05.001

DeFranco, A., & Lattin, T. (2006). *Hospitality Financial Management*. (3 Ed.). Wiley.

Dittmer, P. (2002). *Dimensions of the Hospitality Industry*. New York: John Wiley and Sons Ltd.

Galvão, A., Fernandes, T., Moura, M., Banerjee, A., & Barra, J. (2018). Una guía introductoria para modeladores de simulación híbrida sobre los métodos de simulación primaria en ingeniería industrial identificados a través de una revisión sistemática de la literatura. *Computers & Industrial engineering*, 124: 474-492. doi: 10.1016/j.cie.2018.07.046

González, F. *Qué es la logística interna: principales características* [Internet]. ESIC. Recuperado de https://www.esic.edu/rethink/2018/01/23/que-es-la-logistica-interna/

Guerrero, M., & Henriques, A. (2014). Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities. *Ingeniare*, Online, 22(2), 257-262.

Heredia, L. (2004). *Jerarquía, Sistema de apoyo a la toma de decisiones*. La Habana.

Hwang, J., & Lambert, C. (2008). La interacción de los principales recursos y su influencia en los tiempos de espera en un restaurante de varias etapas. *International Journal of hospitality management*, 27, 541-551.

Kelton, W., Sadowski, R., & Sturrock, D. (2008). *Simulation with ARENA*. (3 Ed.) Mc Graw Hill Science Engineering.

Kim, W., Ng, C., & Kim, Y. (2009). Influence of institutional DINESERV on customer satisfaction, return intention, and word-of- mouth. *International Journal of Hospitality Management*, 28(1), 10-17.

Law, M. (2006). How to build valid and credible simulation models. In *Proceedings of the 38th Winter Simulation Conference*, (pp 58-66). Monterrey, California,

Namkung, Y., & Jang, S. (2007). Does food quality really matter in restaurants? Its impact on customer satisfaction and behavioral intentions. *Journal of Hospitality and Tourism Research*, 31(3), 387-409.

Park, K., & Jang, S. (2014). Hospitality finance and managerial accounting research: suggesting an interdisciplinary research agenda. *International Journal of Hospitality Management*, 26(5), 751-777.

Parsa, H., Self, J., Sydnor-Busso, S., & Yoon, H. (2011). Why restaurants fail? Part II-the impact of affiliation, location, and size on restaurant failures: results from a survival analysis. *Journal of Foodservice Business Research*, 14(4), 360-379.

Peng, N., Chen, A., & Hung, K. (2017). The effects of teppanyaki restaurant stimuli on diners' emotions and loyalty. International *Journal of Hospitality Management*, 60, 1-12.

Pérez, I. (2001). *Procedimiento para la optimización de experimentos simulados*. (Tesis Doctoral en Ciencias Técnicas). Instituto Superior Politécnico José A. Echevarría. La Habana, Cuba.

Pinheiro de Lima, O., Breval, S., Rodríguez Taboada, C., & Follmann, N. (2017). Una nueva definición de la logística interna y forma de evaluar la misma. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(2), 264-276.

Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press.

Pullman, M., & Rodgers, S. (2010). Gestión de la capacidad para la hostelería y el turismo: una revisión de los enfoques actuales. *Revista Internacional de Gestión de la Hospitalidad*, 29(1), 177-187.

Ramos Iglesias, L., Segura Domínguez A., González Catalá, Y., & Alonso Suárez, A. (2012). Evaluación y análisis de eficacia y eficiencia en restaurantes. Caso: restaurante especializado en comida internacional. *Revista Ingeniería Industrial, Año 11 Nº1, 51-67.*

Saaty, T. (1990). *Decision making for Leaders: the Analitic Herarchy Process for decision in a complex World*. Pittsburgh, USA: Editorial RWS Publications, University of Pittsburgh.

Saaty, T. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.

Santos, A. (2011). *El modelamiento logístico en la prestación de servicios: caso sociedad hotelera. Documentos de Investigación*. No. 96, Bogotá: Universidad del Rosario

Sharma, A., Moon, J., & Strohbehn, C. (2014). Restaurant's decision to purchase local foods: Influence of value chain activities. *International Journal of Hospitality Management*, 39, 130-143.

Shimmura, T., Fujiib, N., & Kaihara, T. (2017). Staff motion reduction at a Japanese restaurant by kitchen layout. In *Procedia CIRP 62*, (pp 106 – 110). Ishia, Italia.

Tsaur, S., Luoh, H., & Syue, S. (2015). Positive emotions and behavioral intentions of customers in full-service restaurants: does aesthetic labor matter? *International Journal of Hospitality Management*, 51, 115-126. doi: 10.1016/j.ijhm.2015.08.015

Critérios Editoriais

A RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação) é um periódico científico, propriedade da AISTI (Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação), que foca a investigação e a aplicação prática inovadora no domínio dos sistemas e tecnologias de informação.

O Conselho Editorial da RISTI incentiva potenciais autores a submeterem artigos originais e inovadores para avaliação pelo Conselho Científico.

A submissão de artigos para publicação na RISTI deve realizar-se de acordo com as chamadas de artigos e as instruções e normas disponibilizadas no sítio Web da revista (http://www.risti.xyz).

Todos os artigos submetidos são avaliados por um conjunto de membros do Conselho Científico, não inferior a três elementos.

Em cada número da revista são publicados entre cinco a oito dos melhores artigos submetidos.

Criterios Editoriales

La RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información) es un periódico científico, propiedad de la AISTI (Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información), centrado en la investigación y en la aplicación práctica innovadora en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

El Consejo Editorial de la RISTI incentiva autores potenciales a enviar sus artículos originales e innovadores para evaluación por el Consejo Científico.

Lo envío de artículos para publicación en la RISTI debe hacerse de conformidad con las llamadas de los artículos y las instrucciones y normas establecidas en el sitio Web de la revista (http://www.risti.xyz).

Todos los trabajos enviados son evaluados por un número de miembros del Consejo Científico de no menos de tres elementos.

En cada número de la revista se publican cinco a ocho de los mejores artículos enviados.

Os associados da AISTI recebem a RISTI gratuitamente, por correio postal. Torne-se associado da AISTI. Preencha o formulário abaixo e envie-o para o e-mail aistic@gmail.com

Los asociados de la AISTI reciben la RISTI por correo, sin costo alguno. Hazte miembro de la AISTI. Rellena el siguiente formulario y remítelo al e-mail aistic@gmail.com

aisti

Formulário de Associado / Formulario de Asociado

Nome/Nombre: _____

Instituição/Institución: _____

Departamento: _____

Morada/Dirección: _____

Código Postal: _____ Localidade/Localidad: _____

País: _____

Telefone/Teléfono: _____

E-mail: _____ Web: _____

Tipo de Associado e valor da anuidade:

☐ Individual - 35€

☐ Instituição de Ensino ou I&D/Institución de Educación o I&D - 250€

☐ Outro (Empresa, etc.) - 500€

NIF/CIF: _____

Data/Fecha: __/__/____ Assinatura/Firma: _____

risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies
©AISTI 2019 http://www.aisti.eu