



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

ISSN: 1646-9895

N o v e m b r o 2 0 • N o v e m b e r 2 0



©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

Nº E37

Edição / Edition

N.º E37, 11/2020

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 Lisboa, 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

Francisco Maciá Pérez, Universidad de Alicante, ES

Iren Lorenzo Fonseca, Universidad de Alicante, ES

Néstor Darío Duque Méndez, Universidad Nacional de Colombia, CO

Cornelio Yáñez Márquez, Instituto Politécnico Nacional, MX

Ileana Pérez Vergara, Universidad de San Buenaventura Cali, CO

Josefina de Llano Feliú, Universidad Cooperativa de Colombia, CO

Pablo Moreno Ger, Universidad Internacional de La Rioja, ES

Alfredo Simón-Cuevas, Universidad Tecnológica de La Habana José

Antonio Echeverría, CU

Diana Carolina Coello Fiallos, Universidad de Calabria, IT

Jose M. Lavin, CESINE, ES

Julio Pablo Martínez Prieto, Liberty Power, USA

Maikel Pérez Gort, INAOE, MX

Ernesto Pérez Estevez, CEDIA, EC

Walter Fuertes, ESPE, EC

Editorial

Retos y Aportes al Desarrollo Tecnológico de la Sociedad Moderna (CSEI'2020)

Challenges and Contributions to the Technological Development in Modern Society (CSEI'2020)

Félix Fernández-Peña¹

fo.fernandez@uta.edu.ec

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

Pages: iii–vi

La importancia de la ciencia de la computación, la electrónica y la ingeniería industrial se ha puesto de manifiesto en el soporte que nos ha ofrecido para nuevas formas de comunicación, trabajo y convivencia en la nueva realidad que generó la aparición de la pandemia del COVID-19. Sin embargo, nuevos retos no se han hecho esperar y las nuevas condiciones ponen en tela de juicio la sostenibilidad del desarrollo humano.

En esta ocasión publicamos los resultados de un conjunto de trabajos de investigación aceptados para su presentación en el II Congreso Internacional de Ciencia de la Computación, Electrónica e Ingeniería Industrial CSEI'2020. La celebración del Congreso, que tuvo lugar de forma virtual, contó con la participación de ocho conferencistas internacionales de Argentina, Ecuador, España, Estados Unidos, México y Rumanía y la presentación de un total de 39 trabajos científicos. De esta manera, el CSEI se consolida como espacio de divulgación y debate de resultados de investigación en el área de convergencia de la ciencia de la computación, la electrónica y la ingeniería industrial en la región centro del Ecuador.

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 75 artículos de autores de un total de seis países. Los artículos fueron revisados por pares científicos reconocidos y se utilizó el método de revisión doble ciego. Un total de 19 trabajos fueron seleccionados para esta publicación que ponemos hoy a su consideración.

Índice / Index

EDITORIAL

Retos y Aportes al Desarrollo Tecnológico de la Sociedad Moderna (CSEI' 2020)	ix
<i>Félix Fernández-Peña</i>	

ARTIGOS / ARTICLES

Estandarización de módulos de madera para ferias y eventos.....	1
<i>Luzmila Mateo, Katherine Ballena, Víctor Núñez, Eloy Marcelo', José C. Alvarez</i>	
Herramienta de Software para la automatización de la construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información	14
<i>Cristian Mera Macías, Igor Aguilar-Alonso, Daniela Vera Vélez</i>	
Evaluación del desempeño en tiempos de respuesta para bases de datos SQL, NoSQL y NewSQL	28
<i>Katherine Lasluisa, Miguel Alfredo Gaibor Saltos, Paúl Francisco Baldeón Egas, Renato M. Toasa</i>	
Propuesta de mejora del plan de gestión de mantenimiento basado en RCM y Lean Office en el proceso de inyección de polímeros	41
<i>Marysabel Valenzuela Fuchs, Adrián Rodríguez-Cáceres, Ernesto Altamirano-Flores, Guillermo E. Marcelo Lastra y José C. Álvarez Merino</i>	
Selección de una metodología para evaluar y mejorar la calidad de datos utilizando AHP y TOPSIS.....	52
<i>Mauricio Garcés Ordóñez, Mayda Patricia González Zabala</i>	
Proposta de política de ciência, tecnologia e inovação baseada na gestão do conhecimento para um <i>cluster</i> de pequenas empresas de energia solar	65
<i>José C. Alvarez, Kazuo Hatakeyama, Mercedes I. Carazo, Angel Hurtado</i>	
La Gestión del Conocimiento en Ciudades a través de la Teoría de Grafos	78
<i>Guillermo Rodríguez, Diego Cordero, Vanessa Bermeo, Giovanni Pesántez</i>	
Sistema ciber-físico en la nube para monitoreo de contaminación acústica urbana bajo plataforma IoT	91
<i>Renzo M. Murata Arca, Félix M. Santos López, Jhon M. Portella Delgado</i>	
Desarrollo de un software para la medición financiera en proyectos de emprendimiento.....	104
<i>Edwin Andrés Jiménez Echeverri, David Esteban Rodríguez Guevara, Sergio Andrés Sierra Luján, Cesar Augusto Rodríguez Ledesma</i>	

SCRATCH como herramienta para el desarrollo del pensamiento computacional en educación básica	116
<i>Sandoval Bernarda, Yáñez Anita, Franyelit Suarez, Omar, Flor</i>	
La pluriculturalidad en el desarrollo de iniciativas de e-gestión centradas en el usuario	127
<i>Magniven Mamian, Jhoan Anacona, Armando Ordoñez, Cristian Camilo Ordoñez, Cristian Mendez</i>	
Aplicación de la metodología SMED en proceso de cambio de matrices en la industria metalmecánica: Caso Ecuador	140
<i>Ana B. Domínguez, Daysi M. Ortiz, Israel E. Naranjo, Jéssica M. Lluga</i>	
Predicción del riesgo psicosocial laboral en el transporte urbano aplicando técnicas de aprendizaje automático.....	153
<i>Amado Antonio Lara</i>	
Políticas públicas en el Ecuador hacia la ciberseguridad en base a QoS en redes de campus académicos en entornos convencionales y SDN	166
<i>Ruth Barba-Vera, Marcelo Criollo Bustamante, Norma Aimacaña Toledo, Carlos Silva-Cárdenas, Byron Vaca Barahona</i>	
Control difuso de bajo costo para sistemas de calefacción en avícolas.....	180
<i>Cristhian Monta, Paulina Ayala, Javier Caceres, Carlos A. Garcia, Marcelo Garcia</i>	
Evaluación Longitudinal del Desarrollo de la Motricidad Gruesa en Niños de 4 y 5 años usando Tecnología Kinect	194
<i>Carlos Núñez, Jenrry Nuñez-Nuñez, Félix Fernández-Peña</i>	
Evaluación de la accesibilidad en sistemas de teleconferencia para usuarios con baja visión durante la COVID-19.....	205
<i>Patricia Acosta-Vargas, Gloria Acosta-Vargas, Julián Andrés Galindo Losada, Marco Santórum, Gabriel Elías Chanchí G., Mario Gonzalez</i>	
ATC: Business Analytics for Monitoring Financial Indicators of Credit Products in Peruvian Banking	219
<i>José Aguirre, Antonella Puma Flores, David Mauricio Sánchez</i>	
Modelo de optimización para el cálculo de tiempos estándar en procesos de ensamblaje.....	231
<i>Paulina Guerrero, Rodrigo Guaman, Eliezer Colina Morles, Lorena Siguenza-Guzman</i>	

Estandarización de módulos de madera para ferias y eventos

Luzmila Mateo¹, Katherine Ballena¹, Víctor Núñez¹, Eloy Marcelo¹, José C. Alvarez¹

U201420535@upc.edu.pe; u201420357@upc.edu.pe; victor.nunez@upc.edu.pe;
pcinemar@upc.edu.pe; pciijalv@upc.edu.pe

¹ Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 51, Lima, Perú.

Pages: 1–13

Resumen: El problema identificado en una empresa proveedora de módulos de madera para ferias y eventos consiste en el deficiente proceso de fabricación de módulos de madera, causado por el mal proceso de diseño, y falta de estudio a la familia de productos. La propuesta de solución consiste en la aplicación del DFMA para estandarizar los componentes principales de un módulo de madera y así poder obtener un stand con alto grado de estandarización. Los resultados hallados fueron positivos, se hizo posible armar una librería con piezas principales y un catálogo con una estandarización del 80% de componentes de cada módulo de madera para dejar que el cliente solo realice un 20% de personalización. Además, el tiempo de ciclo de la fabricación disminuyó en 54%, los reprocesos disminuyeron en 16,6% y los repintados se redujeron en 12,8%.

Palabras-clave: DFMA, Estandarización, Módulos de madera.

Standardization of wooden modules for fairs and events

Abstract: The problem identified in a company that provides stands for fairs and events consists of the deficient process of manufacturing wooden stands and derivatives, caused by the poor design process, and a lack of study of the product family. and components. The proposed solution consists of applying the DFMA to standardize the main components of a stand and thus be able to obtain a stand with a high degree of standardization. The results found were positive, it became possible to assemble a bookstore with main parts and a catalog with a standardization of 80% of the components of each stand to let the client only carry out 20% customization. In addition, manufacturing cycle time decreased by 54%, reprocessing decreased by 16.6%, and repainting decreased by 12.8%.

Keywords: DFMA, Standardization, Wooden Modules

1. Introducción

Según la Asociación de Ferias del Perú (AFEP), las ferias generan empleo a cerca de 30.000 personas y anualmente actividades económicas por unos 5 mil 600 millones de

dólares, el 2,8% del PBI. Las PYMES y MYPES de segunda transformación de la madera (fabricación de recipientes de madera, producción de partes y piezas para construcciones y elaboración de muebles), realizan los procesos de manufactura sin aplicar ingeniería, tecnología, y adecuada logística; sus costos de producción son ajustados para obtener una mayor “utilidad”. En consecuencia, las empresas presentan problemas de ineficiencia en la producción, los cuales inician desde el diseño del producto y terminan en el empaquetado final. La empresa en estudio será denominada STP, se dedica a la producción de partes y piezas para construcciones de módulos de madera de melamina y madera para ferias y eventos. Esta empresa presenta problemas de ineficiencia en la producción, ya que reporta paradas en la producción, reprocesos, mala planificación de los recursos, horas extras no planificadas y defectos en el producto final. Asimismo, se identificó que trabaja bajo un entorno de producción Make To Order (MTO). Por ello, se planteó como propuesta de solución la técnica DFMA (del inglés *Design for Manufacturing and Assembly*) por los beneficios significativos que tiene.

2. Análisis del problema

Con los talleres recibidos por el CITE-madera, la empresa STP indicó que la eficiencia mínima que debe tener la producción de estos módulos es de 83,6%, por ende, se hizo un análisis a los meses de marzo hasta agosto del año 2019 para conocer si la producción cumplía con lo establecido. El resultado arrojó una eficiencia promedio de 69,6% ver figura 2. Se profundizó porque la empresa no llegaba a la eficiencia indicada y se encontró 4 causas que ocasionan este problema. La primera es la personalización de módulos de madera, esto se da cuando el área de diseño negocia con el cliente un producto con piezas nuevas para la empresa. Durante el semestre en estudio se pudo hallar que los 25 módulos de madera decorados que se fabricaron tenían un total de 182 piezas de las cuales 151 eran nuevas en diseño y medida. Es decir, el 83% de piezas que contienen los módulos de madera decorados son personalizadas y solo el 17% son piezas estándares que figuran en el catálogo de productos. Se sabe que la empresa STP actualmente trabaja con 3 catálogos, de mobiliarios, módulos de madera y módulos de madera decorados; estos últimos contienen productos totalmente diferentes entre sí. Los mobiliarios se tienen en stock, los módulos de madera, formados por perfiles de aluminio y paredes rectangulares, se ensamblan de acuerdo a la medida solicitada; pero la dificultad para la empresa se da cuando el cliente solicita un módulo de madera decorado, formado por madera, cuyo diseño y componentes son personalizados por el cliente, la empresa se rige a lo que se solicite, es decir trabaja bajo un entorno *Make to order* lo que significa que se dedicara más tiempo en la personalización por lo que se realizará una mayor inversión.

La segunda es el reproceso de piezas en el pre armado, en planta 15 módulos de madera fueron reprocesados por presentar problemas durante el pre armado. Esto se dio en el área de carpintería y la causa principal fue por que las piezas no encajaban en el módulo de madera, como causa raíz se encontró que el proceso de diseño y planos son de manera independientes en diferentes programas, por lo que se presenta el error humano.



Figura 1 – Peça que no encaja durante el pre armado.

La tercera es el repintado de piezas, esto se dio debido a que el proceso se realiza de manera inadecuada, es decir, el pintado estaba defectuoso, contenía polvillos de madera impregnado y el empaquetado se realiza a destiempo, es decir el tiempo de secado no era lo suficiente.

La cuarta es la parada de producción, este problema se dio en el área de carpintería y pintura, ya que la falta de los detalles de requerimiento de materiales hace que se incurran en varias compras de último momento, haciendo que se presenten paradas en la producción que a su vez extiende el tiempo de fabricación.

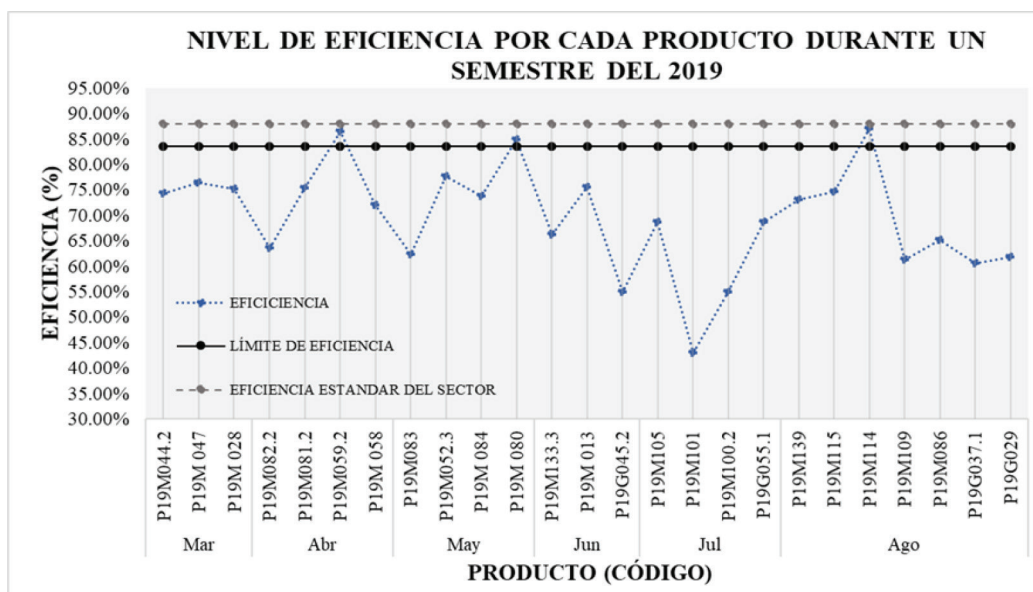


Figura 2 – Eficiencia de la fabricación durante un semestre del 2019.

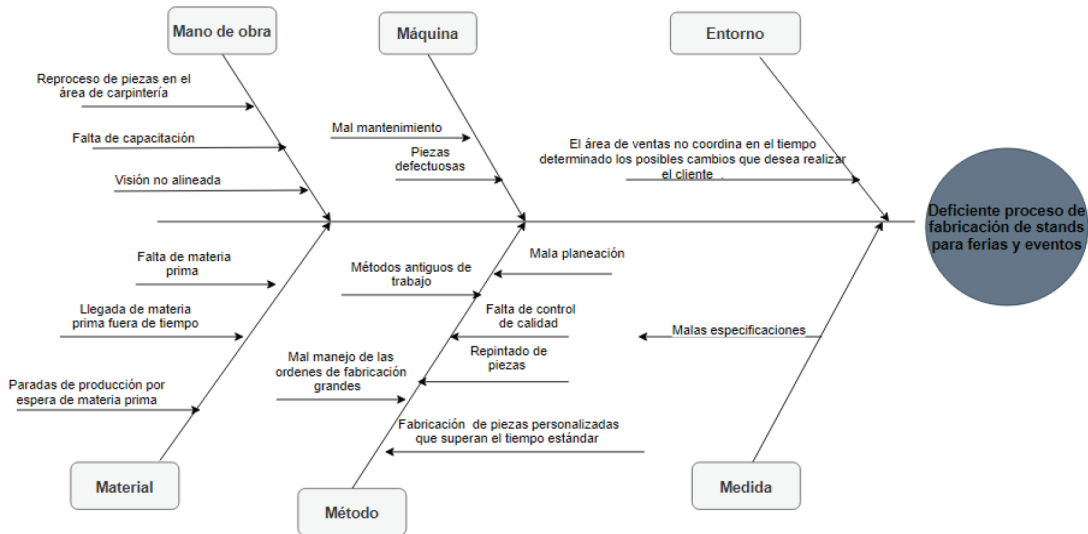


Figura 3 – Diagrama de Ishikawa del problema.

Del análisis realizado, \$ 36.,702.,93 fue la utilidad del mes de marzo hasta agosto.

Efecto de ineficiencia	Impacto en dólares
Sobrecosto de hora extra no planificada	\$1,306.10
Sobrecosto por hora adicional	\$781.95
Costo de materia prima adicional	\$589.90
Penalizaciones por incumplimiento	\$3,039.92
Compras no planificadas	\$81.20
Producto tercerizado	\$1,200.86
Total	\$6,999.94
Impacto en la utilidad	19.10%

Tabla 1 – Impacto en la utilidad de la empresa.

3. Estado del arte

La técnica DFMA simplifica el diseño, fabricación y montaje del producto, del mismo modo la adopción de esta técnica reduce tiempo, costo y deficiencia de fabricación (Safaa, Hatmoko & Purwanggono, 2019). Asimismo, la técnica DFMA según el autor Perumal se utiliza para la construcción de módulos compuestos con accesorios y acabados, los cuales se elaboran en fábricas y se ensamblan de manera similar a un lego. DFMA ha sido utilizada en los últimos años, en una serie de sectores como en la

construcción y salud. Cada vez más, los clientes, diseñadores, contratistas y operadores están convencidos de utilizar esta técnica, ya que elimina desperdicios y actividades que no agregan valor (Banks, Kotecha, Curtis, Dee, Pitt & Papworth, 2018). Los países como Indonesia, Malasia, Singapur, Reino Unido, EE. UU., Italia aplican este enfoque a edificios, puentes, casas, herramientas y máquinas. Según Kim (2016), los beneficios de usar enfoques DFMA son: (a) costo reducido de fabricación y montaje mediante la eliminación de piezas innecesarias, (b) menor tiempo de montaje y mayor fiabilidad utilizando componentes estandarizados y prácticos de ensamblar, y (c) menor tiempo de comercialización.

Los resultados del análisis con diseño de simulación obtenidos por Purnomo en la investigación que realizó sobre la construcción de un puente utilizando la técnica DFMA en Indonesia, dan una eficiencia del 28,83% de simplicidad de diseño; 8,74% número de componentes y estandarización en elementos o materiales; 25% de facilidad de manejo; 51,53% de tiempo de montaje; 23,39% de costo de trabajo y 18,87% de tiempo de duración. Chen (2018), reportó un estudio de caso de un edificio comercial en Wuhan en donde se utilizó la técnica DFMA para el diseño de CWS y se obtuvo como resultados la disminución del costo del material en 38,68% ahorrando \$90.000. Asimismo, el tiempo de ensamblaje anteriormente era de 15 minutos y luego paso a 8 minutos, lo cual se logró una reducción de 46,66%. Según Perumal, la productividad en la construcción de casas utilizando la técnica DFMA se intensificó, superaron el número de casas construidas en Malasia, el requisito de cambio de mano de obra de cantidad a calidad. Chowdary (2019), menciona que el concepto que se desarrolló con las metodologías DFMA y DFE mostró reducciones significativas en el costo en 21%, el tiempo de montaje del material en 62%, el valor del indicador ecológico 99 resultó en 82% y el número de piezas en 76%. Los diseños fueron similares en arquitectura y forma, siendo la principal diferencia la metodología utilizada (Chowdary, Richards, & Gokool, 2019). También,

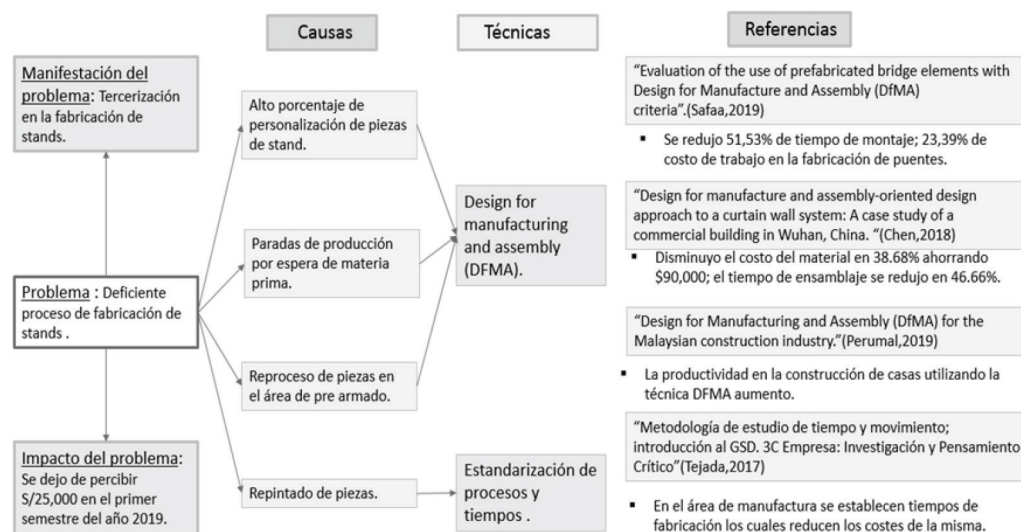


Figura 4 – Relación del estado del arte con el problema.

se evidenció una mejora significativa en la arquitectura del producto, ya que el recuento total de piezas se redujo de 57 a 45 (Harlalka, Naiju, Janardhanan & Nielsen, 2016). Tras utilizar el DFMA el nuevo diseño de piezas facilita el ensamblaje, se estandarizó los materiales y actividades, se obtuvo menor número de componentes del producto, asimismo el pegado y fijación entre piezas del diseño fue eficiente, por último, se redujo los tiempos de producción (Pinheiro, Ordoñez, Barbosa & Dedini, 2018)

4. Propuesta innovadora

La propuesta idónea para dar solución a la deficiencia en el proceso de fabricación de módulos de madera el DFMA, el cual será aplicado para estandarizar el diseño de las piezas de los módulos de madera decorados. El Diseño para la Fabricación y el Montaje (DFMA) mejora el diseño de un producto, reduciendo la cantidad de piezas de ensamble eliminando las que no son esenciales sin alterar el producto final. Los pasos para aplicar el DFMA son 4:

Definición de recursos, esto se clasificará en cuatro partes: (a) Conformar equipo de trabajo, (b) Software de simulación en 3D, (c) Recopilar y analizar datos históricos de las medidas de las áreas de las ferias y (d) Información del catálogo actual y los tipos de productos fabricados. Como recurso nuevo se debe adquirir un software que genere el diseño y el plano.

Diseño conceptual, en esta parte se realiza un análisis a los recursos (c) y (d) del paso anterior; y se hará una tormenta de ideas acerca de las piezas a estandarizar y las formas

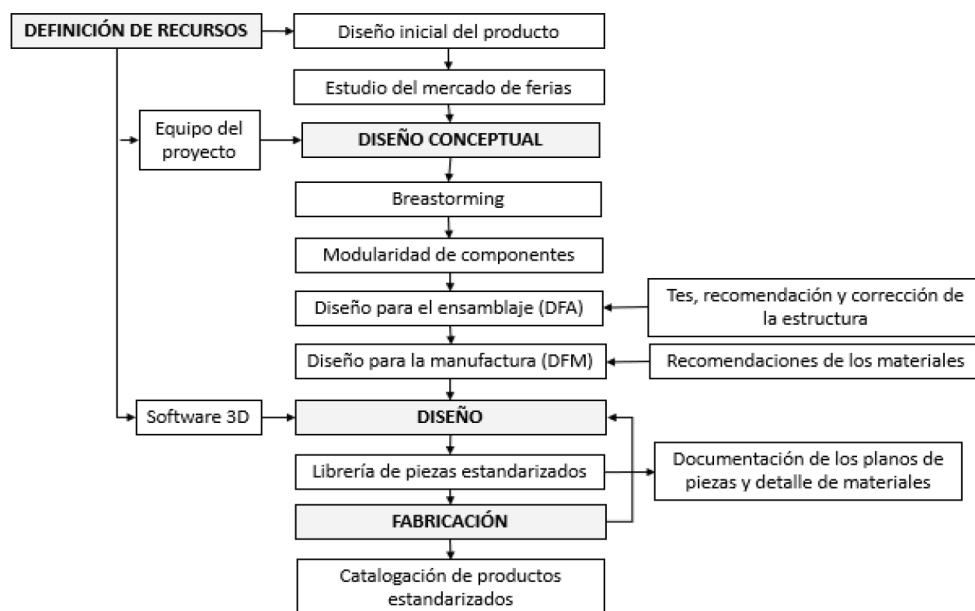


Figura 5 – Modelo de procedimiento para el DFMA.

que éstas deben tener. Esto pensando siempre en la modularidad, funcionalidad y estética del producto. Las piezas propuestas del stand se detallarán en un documento.

Diseño de piezas, como su mismo nombre lo dice es una actividad creativa que tiene por fin proyectar en el software 3D el detalle documentado, en esta etapa se generan soluciones alternativas en función a las especificaciones surgidas en la fase anterior. Luego se deberá catalogar los módulos de madera con las piezas estandarizadas. Asimismo, se documentarán los planos generados de cada una de las piezas para su posterior fabricación; además, una lista de requerimiento de materiales de madera y derivados se deberá adjuntar a cada pieza.

Fabricación / Simulación. La fabricación o simulación final del producto tiene por objetivo verificar que el flujo de interacción esperado es el correcto o si es necesario ajustarlo para mejorarlo. Los pasos para realizar la simulación son: (a) simular ensamblado de módulos de madera, (b) simulación de tiempos de fabricación, y ensamblado, y (c) análisis y costeo.

5. Validación

La validación se realizó en base a tres puntos importantes, primero se realizó una validación 3D utilizando el Inventor Profesional, después se procedió a validar mediante el software *Arena Simulation* y por último la validación económica.

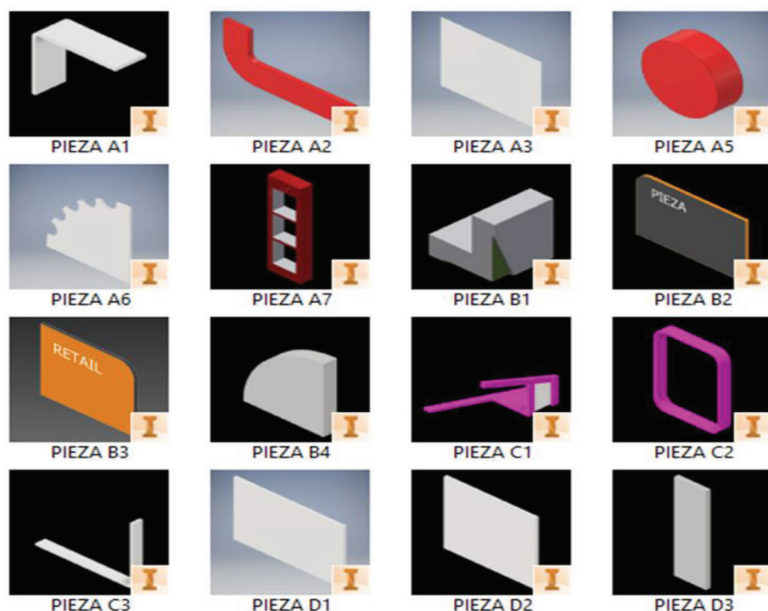


Figura 6 – Librería de piezas de una familia de productos.

5.1. Validación 3D

Para validar y ejemplificar la implementación de DFMA se ha recurrido al software Inventor Profesional, con el cual se estudió una familia de productos y se realizó una librería con 16 piezas estandarizadas, ver Figura 6. Se eligió una medida muy frecuente de áreas de las ferias, de 3 m de ancho, 4 m de largo y 2,5 m de alto. A partir de ello se procedió a realizar el ensamble de la familia de módulos de madera, con el que se obtuvo un catálogo de productos con 8 diferentes tipos de módulos, ver Figura 7.

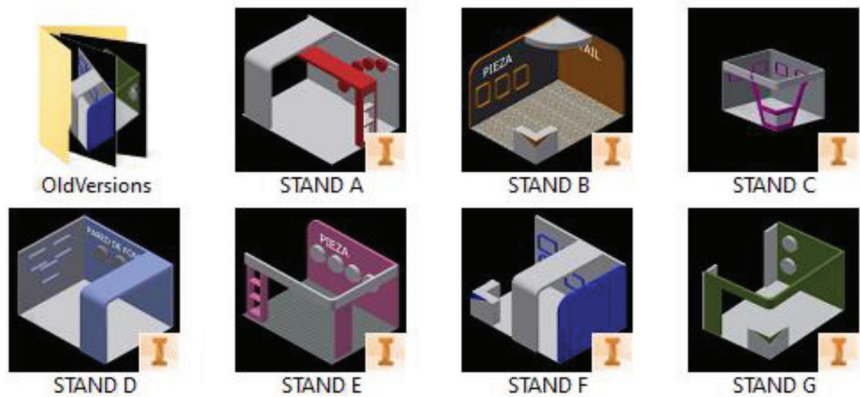


Figura 7 – Familia de productos estandarizados.

5.2. Validación en Arena Simulation

Para la simulación de sistemas se utilizó el software Arena Simulation, primero se identificaron las variables y procesos a estudiar, también se analizó los tiempos recopilados en el Input Analyzer para conocer la distribución de las variables; y se procedió a graficar el diagrama de representación del sistema actual y el modelo propuesto. Asimismo, se halló el número de corridas, para poder analizar los resultados de una manera precisa y prevenir futuras conclusiones erróneas.

Modelo actual:

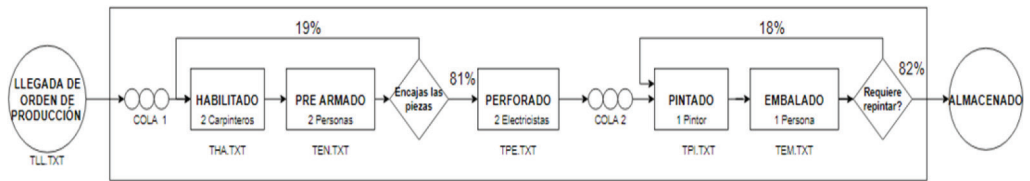


Figura 8 – Representación del sistema actual.

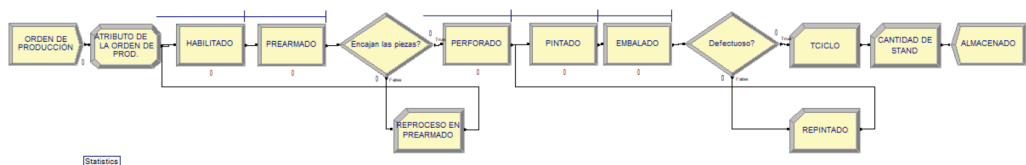


Figura 9 – Modelo actual en Arena Simulation.

Los resultados hallados fueron: El tiempo de ciclo promedio es de 42,6 horas, se fabricaron un total de 1 módulo de madera; hubo 19% de reprocesos en el área de pre armado y 16 % repintados.

Identifier	COUNTERS	
	Count	Limit
STAND REPINTADO	85	Infinite
STAND FABRICADO	492	Infinite
STAND REPROCESADO	102	Infinite

Figura 10 – Reporte de contadores de arena Simulation.

ARENA Simulation Results					
LUZMILA - License: STUDENT					
Summary for Replication 15 of 15					
Project: STAND			Run execution date : 6/ 7/2020		
Analyst: LUZMILA			Model revision date: 6/ 7/2020		
Replication ended at time			: 1440.0 Hours		
Base Time Units: Hours					
TALLY VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
TCICLO	41.733	1.4880	28.218	115.44	492
STAND.VATime	40.468	1.0677	28.218	84.100	492

Figura 11 – Resultados del Arena Simulation.

Modelo propuesto:

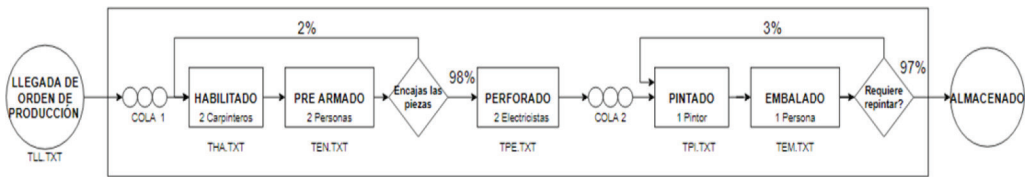


Figura 12 – Representación del sistema para el modelo Propuesto.

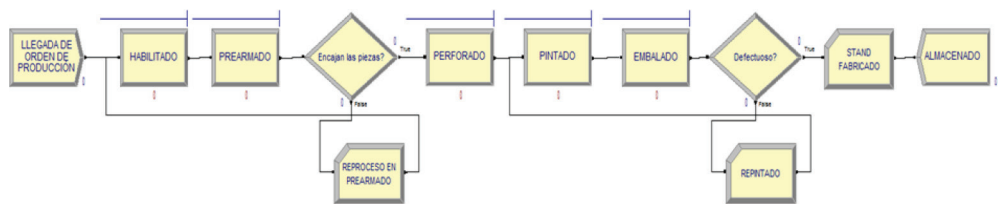


Figura 13 – Modelo propuesto en Arena simulation.

Los resultados encontrados fueron: El tiempo promedio de fabricación de un módulo de madera es de 22,5 horas, se fabricaron un total de 2356 módulos de madera, el 2,4% tuvo reprocesos y el 3,2% tuvo repintados.

ARENA Simulation Results					
LUZMILA - License: STUDENT					
Summary for Replication 46 of 46					
Project: STAND			Run execution date : 5/10/2020		
Analyst: LUZMILA			Model revision date: 5/10/2020		
Replication ended at time			: 1440.0 Hours		
Base Time Units: Hours					
TALLY VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
TCICLO	22.523	.13756	15.541	48.427	2356
STAND.VATime	22.494	.12880	15.541	41.370	2356

Figura 14 – Resultados del modelo propuesto en Arena Simulation

Identifier	COUNTERS	
	Count	Limit
STAND REPINTADO	76	Infinite
STAND FABRICADO	2356	Infinite
STAND REPROCESADO	57	Infinite

Figura 15 – Reporte de contadores del modelo propuesto en Arena Simulation.

5.3. Validación económica

Se elaboró un flujo de caja económico en un tiempo determinado de 5 años. Los principales ingresos que se tendrán en cuenta son ingresos por ventas y ahorro por resolver ineficiencia. Además, los costos involucrados son pagos al supervisor, capacitación al personal (año 1, 3 y 5) y gastos administrativos y ventas; a estos se le denominara costo de mantenimiento y operaciones. Para realizar los cálculos, se utilizó el modelo CAPM (Modelo de Valoración de Activos Financieros), se determinó el Costo de Oportunidad igual a 15,82%. Luego, se empleó tres indicadores para determinar si el proyecto es viable. El primero es el valor actual neto (VAN), el segundo tasa interna de retorno (TIR) y el último el índice beneficio/ costo (B/C).

El VAN para la empresa STP resulto \$ 19.780,46. La TIR de la empresa STP es igual a 118%. Por último, se procedió a calcular el valor del B/C, para ello se utilizó los siguientes datos: inversión total de \$ 5.600 y egresos de efectivo de \$ 57.204,72. Así, la salida de dinero suma \$ 62.804,72. Con las proyecciones se prevé recibir beneficios de \$ 72.125,16 en cinco años. El resultado es 1,15 que sería el índice de beneficio/costo.

Resultado de los indicadores		
VAN	\$ 19,780.46	NPV >0
TIR	118%	TIR >15.82%
B/C	1.15	RBC > 1

Tabla 2 – Resultado de los indicadores

6. Discusión

Con el estudio realizado se concluyó que el deficiente proceso de fabricación de módulos de madera es el principal problema, por ello se comparó la eficiencia promedio del sector con la eficiencia de la empresa STP y dio como resultado que la empresa estaba por debajo del límite de eficiencia.

Con la simulación 3D se pudo validar que aplicando el DFMA se puede realizar una librería de piezas principales estandarizadas por cada tipo de familia y obtener un catálogo de productos con el 80% de componentes estandarizados y dejar que el cliente realice solo el 20% de personalización al módulo de madera.

Con el *Arena Simulation* se validó que tras la implementación de la propuesta se logra la reducción del tiempo de ciclo de un stand de 41,7 a 22,5 horas, los reprocesos disminuyeron de 60% a 2,4% y los repintados redujeron de 16% a 3,2%.

Se corrobora lo que decían los diferentes autores en estudio, con la aplicación de la técnica DFMA se reduce costos, tiempos, aumenta la calidad, rentabilidad, confiabilidad y seguridad de la empresa y los trabajadores.

7. Conclusión

La presente investigación propuso erradicar la ineficiencia en el proceso de producción, el cual generaba un costo aproximado de \$ 14 mil al año. La inversión del proyecto es de 5.600 dólares, para saber si es rentable se realizó el flujo de caja de cinco años. Los resultados obtenidos fueron $VAN = \$ 19.780,46 > 0$; el valor del TIR resultó $118\% > 15,82\%$ y la relación B/C es 1,15. Después de interpretar los resultados se verifica que el proyecto es viable económicamente.

Se detectó que el área de diseño juega un papel primordial, ya que, si estos no se realizan de manera correcta, el módulo de madera no podrá ser armado eficientemente.

Con el modelo propuesto, se pretende llegar a todo el sector de madera y muebles puesto que las investigaciones arrojan que todas las empresas del Perú tienen deficientes procesos de fabricación a causa del mal proceso de diseño del producto.

Se observó que es posible realizar una librería de piezas principales estandarizadas por familia de productos y construir un catálogo con productos 80% estandarizados y dejar que el cliente realice solo el 20% de personalización al módulo de madera. Así la empresa pase de tener un entorno de producción Make to order a uno Assembly to order.

Asimismo, se utilizó el programa *Arena simulation* para verificar si la propuesta ayudara a resolver los objetivos planteados y este dio resultados positivos como la reducción del tiempo de ciclo de un stand igual a 54%, los reprocesos disminuyeron en 16,6% y los repintados se redujeron en 12,8%.

Referencias

- Azri, N. M., Effendi, M. S. M., & Rosli, M. F. (2018, November). Improvement of cordless drill using DFMA and sustainable design approach. In AIP Conference Pro-ceedings AIP Publishing LLC, 2030(1), 020072. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5066713?download=true&journalCode=apc>
- Banks, C., Kotecha, R., Curtis, J., Dee, C., Pitt, N., & Papworth, R. (2018). Enhancing high-rise residential construction through design for manufacture and assembly—a UK case study. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management, Procurement and Law*, 171(4), 164-175.
- Chen, K., & Lu, W. (2018). Design for manufacture and assembly-oriented design approach to a curtain wall system: a case study of a commercial building in Wuhan, Chi-na. *Sustainability*, 10(7), 2211.

- Chowdary, B. V., Richards, M. A., & Gokool, T. (2019). Redesign of a Furniture In-dustry Component: A Sustainable Design Approach. *West Indian Journal of Engineering*, 41(2).
- Gbadamosi, A. Q., Mahamadu, A. M., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Manu, P., Mahdjoubi, L., & Aigbavboa, C. (2019). Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1180-1190. <https://uwe-repository.worktribe.com/output/849262/offsite-construction-developing-a-bim-based-optimizer-for-assembly>.
- Harlalka, A., Naiju, C. D., Janardhanan, M. N., & Nielsen, I. (2016). Redesign of an in-market food processor for manufacturing cost reduction using DFMA methodology. *Production & Manufacturing Research*, 4(1), 209-227.<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21693277.2016.1261052>.
- Kim, M. K., McGovern, S., Belsky, M., Middleton, C., & Brilakis, I. (2016). A suitability analysis of precast components for standardized bridge construction in the United Kingdom. *Procedia engineering*, 164, 188-195.
- Leminen, V., Eskelinen, H., Matthews, S., & Varis, J. (2013). Development and utilization of a DFMA-evaluation matrix for comparing the level of modularity and standardization in clamping systems. *Mechanics*, 19(6), 711-715. <http://www.mechanika.ktu.lt/index.php/Mech/article/view/5999>
- Pinheiro, N. M. G., Ordoñez, R. E. C., Barbosa, G. L. L., & Dedini, F. G. (2018). Computational simulation applied in choosing the best solution in a product development using design for manufacturing and assembly approach. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 618-628.
- Safaa, Y. P., Hatmoko, J. U. D., & Purwanggono, B. (2019). Evaluation of the use of prefabricated bridge elements with Design for Manufacture and Assembly (DfMA) criteria. In MATEC Web of Conferences *EDP Sciences*. 270, 05006). https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2019/19/mateconf_concern2018_05006/mateconf_concern2018_05006.html
- Tik, L. B., Jhun, K. K., Tatt, S. L., Lin, A. F., & Min, T. S. (2019). Design for manufacturing and assembly (dfma) for malaysia construction industry. *MALAYSIAN CONSTRUCTION RESEARCH JOURNAL (MCRJ)*, 190. <https://www.cream.my/main/index.php/publication/malaysian-construction-research-journal-mcrj?download=105;mcrj-special-issue-volume-7-no-2-2019>
- Yuan, Z., Sun, C., & Wang, Y. (2018). Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings. *Automation in Construction*, 88, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.021>

Herramienta de Software para la automatización de la construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información

Cristian Mera Macías^{1,2}, Igor Aguilar-Alonso³, Daniela Vera Vélez²

angel.mera@uleam.edu.ec; iaguilar@untels.edu.pe; daniela.vera@uleam.edu.ec

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Cercado de Lima, 15081, Lima, Perú.

² Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ciudadela Universitaria, Av. Circunvalación, 130214, Manta, Ecuador.

³ Universidad Nacional Tecnológica Lima Sur, Av. Central Villa El Salvador, 15834, Lima, Perú.

Pages: 14–27

Resumen: La construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información ha sido desarrollada utilizando mecanismos convencionales; sin embargo, recientemente se han realizado investigaciones que incluyen a la automatización como elemento transversal en las actividades de construcción y gestión del catálogo, enfocadas en su arquitectura. El objetivo general de este trabajo de investigación es presentar un software como herramienta válida para la automatización de la construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información, y una valoración realizada por profesionales que laboran en organizaciones privadas, comprobando si la herramienta contribuye a la identificación de servicios, la clasificación de servicios, la retroalimentación del catálogo y la gestión de los servicios de tecnologías de la información. Luego del análisis realizado con base en la valoración de la herramienta desarrollada, se concluye que la automatización es un elemento importante para agilizar y facilitar las tareas de gestión de servicios.

Palabras-clave: catálogo de servicios de TI, machine learning, gestión de servicios de TI.

Software tool for the automation of the construction of a catalogue of information technology services

Abstract: The construction of the information services catalogue is an activity that has been carried out using conventional mechanisms; however, research that includes automation as a cross-cutting element in the construction and management activities of the catalogue has recently been developed, focusing on its architecture. The general objective of this research work is to present a software for the automation of the construction of the catalogue of information technology services. An assessment has been carried out by professionals working in private organizations, in relation to the contribution of the software in the identification

of services, the classification of services, the feedback of the catalog and the management of information technology services. The analysis was then carried out based on the assessment of the developed tool, it is concluded that automation is an important element to streamline and facilitate service management tasks.

Keywords: IT services catalog, machine learning, IT services management.

1. Introducción

En la actualidad, se realizan esfuerzos para incorporar soluciones de Inteligencia Artificial (IA) a las operaciones que realizan los departamentos o áreas de Tecnologías de la Información (TI) de las organizaciones (Glintschert, 2020); para lograrlo, es necesario considerar que la finalidad de estos departamentos es entregar servicios de TI (ITS) a los demás departamentos de la organización.

La entrega de ITS se enmarca en la gestión de servicios de TI (ITSM), esta ha evolucionado como parte de la gestión de TI y se centra en el desarrollo, la implementación y mantenimiento de los ITS (Kattenstroth & Heise, 2011). La ITSM recomienda la implementación de un portafolio de ITS (ITSP) que incluye un catálogo de ITS (ITSC) (Pilorget & Schell, 2018), este catálogo es una estructura que consta de servicios agrupados en categorías y sirve como información central para todos los grupos de usuarios de TI (Meister & Jetschni, 2015). Su definición contribuye a la gestión de la demanda (DM), que cuando está totalmente controlada proporciona a los ejecutivos y profesionales de TI la información necesaria para comprender los costos de TI (Aguilar Alonso et al., 2017). A nivel de la organización, las necesidades de los usuarios de TI se expresan mediante solicitudes, que contienen información sobre incidentes y requerimientos que informan al departamento o área de TI, que debe cotejar dicha información con los servicios disponibles en el ITSC.

Para mejorar la ITSM en las organizaciones, es muy importante hacer uso de la IA que ayude a su automatización, ya que se puede incluir en la entrega y soporte de tecnología, aplicaciones, información y capacitación dentro de una organización. Investigaciones recientes proponen la incorporación de tecnologías como machine learning (ML) y/o minería de texto (TM) en diferentes actividades, tales como: la identificación automática de ITS para conformar un ITSC (Mera & Aguilar, 2019), la retroalimentación del ITSC (Mera et al., 2020), la gestión de solicitudes de ITS (A. K. Kalia et al., 2017), la gestión de tickets llegando hasta la identificación del idioma, su traducción, entre otras actividades (Ali, 2018). Lo descrito, se convierte en la base para el desarrollo de herramientas que faciliten y contribuyan a la eficiencia de las actividades que realizan los departamentos o áreas de TI de las organizaciones. Sabiendo que el ITSC proporciona el detalle de los ITS que brinda un departamento de TI (O'Loughlin, 2009), es recomendable que su arquitectura sea gestionada de manera automática, incluyendo este principio en actividades como la identificación de ITS, la clasificación de ITS, la retroalimentación del ITSC y el desarrollo en sí de la ITSM, motivo suficiente que justifica esta investigación.

El objetivo general de esta investigación es presentar un software para la automatización de la construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información, y una valoración realizada por profesionales que laboran en organizaciones privadas,

en relación con el aporte del software en la identificación de ITS, la clasificación de ITS, la retroalimentación del ITSC y la ITSM.

En lo referente a la metodología utilizada, para el desarrollo del software se aplicó el protocolo descrito en las investigaciones de (Mera & Aguilar, 2019; Mera et al., 2020), utilizando el entorno de desarrollo integrado Visual Studio 2019, haciendo uso del lenguaje C# para la programación de la herramienta y su componente de ML para el modelo, y SQL-Server como sistema de bases de datos. Además, la herramienta de software fue valorada por profesionales que trabajan en entidades privadas del Ecuador.

Este artículo está estructurado de la siguiente forma: la Sección 2 contiene criterios acerca de la automatización de la ITSM, mostrando los detalles más relevantes de dicha práctica. La Sección 3 muestra la metodología empleada en el desarrollo de la investigación, que está dividida en dos partes; por un lado, las directrices para la construcción del software y por otra parte los lineamientos para su valoración. La Sección 4 detalla la herramienta de software para la automatización de la construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información. La Sección 5 muestra los resultados de la valoración de la herramienta de software. La Sección 6 contiene la discusión de los resultados. Finalmente, la sección 7 corresponde a las conclusiones de la investigación.

2. Automatización de la gestión de los servicios de tecnologías de la Información

La aplicación de tecnologías como ML, TM, aprendizaje profundo (DL), entre otras, puede ayudar a desarrollar capacidades para promover mejoras en varias actividades de TI, tales como el reconocimiento de patrones y los sistemas de clasificación. Existen soluciones basadas en ML aplicadas en la ITSM que intervienen por ejemplo: en la gestión de eventos, problemas e incidentes mediante soluciones que se entrenan para el reconocimiento de patrones y detección de anomalías en el servicio; asimismo, ML también se utiliza en la mesa de servicios de TI, mediante chatbots y agentes virtuales que están siendo utilizados para automatizar sus procesos, entre otras actividades de la ITSM (Glintschert, 2020).

El principal medio para la solicitud de ITS que deberían utilizar los usuarios de TI es el ITSC; sin embargo, para ellos es más cómodo enviar un mensaje detallando su requerimiento o incidencia textualmente (Mera & Aguilar, 2018b); por lo tanto, organizaciones como la International Business Machines Corp (IBM) han investigado el tema de la automatización a partir de tickets correspondientes a requerimientos o incidencias; de hecho, existen patentes como la US20200067798A1 que así lo corroboran (A. Kalia et al., 2020).

Como la mayoría de solicitudes de los usuarios de TI se realizan textualmente, el análisis del texto puede efectuarse mediante la TM, que es utilizada para extraer información significativa contenida en cadenas de caracteres; sin embargo, estas solicitudes pueden tener errores ortográficos, gramaticales o ambigüedad; entonces, es necesario realizar la normalización del texto (eliminación de Stopwords, conversión de caracteres, normalización de abreviaturas, entre otras) (Xu et al., 2020), para obtener los términos esenciales que puedan ser considerados para realizar el cotejamiento con un determinado servicio del ITSC. Una solicitud puede cotejarse con un servicio del ITSC, el historial de

solicitudes cotejadas en varias organizaciones fue tomada por (Mera & Aguilar, 2019), quienes mediante una propuesta que incluyó ML, lograron que un modelo basado en un sistema de clasificación aprenda del historial de solicitudes cotejadas, luego esto se utilizó para demostrar que es posible construir un ITSC con dicho método; es decir, efectuando las actividades de identificación y clasificación de ITS de manera automática; sin embargo, para mantener el ITSC a nivel de su arquitectura durante su vida útil, puede ser necesaria la inclusión de nuevos ITS y la eliminación de ITS que ya no se utilicen, esto se estudió mediante un método propuesto por (Mera et al., 2020).

A nivel de ML existen varios enfoques en lo referente a sistemas de clasificación, entre ellos: el enfoque de máxima entropía, que se basa en que la distribución de la probabilidad que mejor representa el estado actual del conocimiento es el que tiene mayor entropía (Camiola et al., 2020). Otro sistema de clasificación es el perceptrón promediado, que es una red neuronal básica donde las entradas se clasifican en varias salidas posibles basadas en una función lineal, que luego se combinan con un conjunto de pesos que se derivan del vector de características (Rajagopal et al., 2020). El enfoque de descenso de gradiente estocástico es otro método para realizar clasificaciones, el mismo que ha sido aplicado con éxito en problemas de aprendizaje automático en lo referente a la clasificación de textos a partir del lenguaje natural (He et al., 2020). Asimismo, los árboles de decisión con aumento de gradiente, se han convertido en un método utilizado para realizar clasificaciones, que consiste en una técnica de aprendizaje automático que ejecuta análisis de regresión y problemas de clasificación estadística, con el objetivo de formar modelos predictivos (Khafajeh, 2020).

3. Metodología

La metodología que se aplicó en esta investigación consta de dos componentes:

- Protocolo para la construcción de la herramienta de software
- Lineamientos para la valoración de la herramienta software

3.1. Protocolo para la construcción de la herramienta software

El protocolo utilizado para la construcción de la herramienta de software ha sido tomado de las investigaciones realizadas por (Mera & Aguilar, 2019; Mera et al., 2020), que han permitido definir una metodología para la construcción del catálogo de servicios de la información (ITSCCM), que está estructurada de la siguiente forma (Tabla 1).

Fases	Macroprocesos	Procesos
<i>Construcción de la solución</i>	Extracción del conocimiento	Seleccionar la base de datos de origen del conocimiento
		Normalización de los ITSC en relación con el ITSC de referencia (ITSRC) único
		Crear la estructura
		Vaciar las solicitudes en la estructura creada
	Apropiación del conocimiento	Proceso de aprendizaje de solicitudes y servicios

Fases	Macroprocesos	Procesos
<i>Construcción y gestión del ITSC</i>	Identificación de ITS	Seleccionar la organización
		Extraer el registro de solicitudes
		Ejecutar la identificación de servicios automática
	Clasificación de servicios y generación del ITSC	Comparar los servicios encontrados con el ITSRC
		Generar la tabla ITS y categorías con su descripción
	Retroalimentación del ITSC y retiro de servicios	Gestionar las solicitudes de ITS de forma automática
		Retroalimentar el ITSC con base en el registro de solicitudes
		Determinar ITS no utilizados
		Retirar o dar de baja ITS no utilizados

Tabla 1 – Estructura de la Metodología para la construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información

De acuerdo con la tabla 1, la ITSCCM consta de 2 fases. La fase 1 corresponde a la construcción de la solución y tiene dos macroprocesos, la extracción del conocimiento y la apropiación del conocimiento. La fase 2 es la construcción y gestión del ITSC, que incluye la identificación de ITS, clasificación de servicios y generación del ITSC, retroalimentación del ITSC y retiro de servicios. En ambas fases está presente la automatización, en la primera para que la solución aprenda y en la segunda para que la solución pueda identificar los ITS y construir el ITSC.

3.2. Lineamientos para la valoración de la herramienta de software

Para la valoración de la herramienta de software se han incluido a profesionales de TI que trabajan en organizaciones o entidades privadas del Ecuador, dichos profesionales cumplieron las siguientes características:

- Analista, licenciado o ingeniero en sistemas, informática o afines
- Que esté laborando en el sector privado
- Conocimiento sobre el ITSC

En lo referente a la muestra, se utilizó una técnica de muestreo no probabilística como es la técnica por redes o bola de nieve, puesto que se solicitó a los profesionales localizados inicialmente que sugieran a otros profesionales para que colaboraran con la valoración del software, esta técnica fue utilizada porque no se tenían datos sobre la población de profesionales que cumplieran con las características descritas, en total fueron 34 profesionales que fueron encuestados de manera on line utilizando las herramientas Blogger y Google Forms.

3.2.1. Técnicas de recolección de datos

Para recoger los datos se utilizó un cuestionario debidamente validado por expertos, donde se hicieron las siguientes preguntas:

1. ¿La herramienta propuesta permite realizar la identificación de servicios de TI de manera automática?
2. ¿La herramienta propuesta permite realizar la clasificación de servicios de TI de manera automática?
3. ¿La herramienta propuesta permite realizar la retroalimentación del catálogo de servicios de TI de manera automática?
4. ¿La herramienta propuesta contribuye a la automatización de la gestión de los servicios de TI?

Para realizar las valoraciones se utilizó la escala de Likert (McLeod, 2019):

1=MUY EN DESACUERDO, 2=EN DESACUERDO, 3=SIN OPINIÓN,
4=DE ACUERDO, 5=MUY DE ACUERDO

3.2.2. Validación de instrumentos

Se evaluó el contenido del instrumento mediante la revisión del conocimiento, la aproximación a la población y el juicio de expertos. Para la prueba de fiabilidad o consistencia se aplicó el alfa de Cronbach, de acuerdo a lo que recomienda (Huanca, 2018). La fórmula del alfa de Cronbach es la siguiente:

$$r = K/K - 1 [1 - \Sigma SI^2 / \Sigma ST^2]$$

donde

K= Número de ítems

SI²= Varianza de los puntajes de cada ítem

ST²= Varianza de los puntajes totales

3.2.3. Análisis e interpretación de los datos

Para el análisis de los datos se utilizaron criterios de la estadística descriptiva, tomando los datos de las encuestas aplicadas y procesándolos en el software estadístico SPSS de IBM.

4. Desarrollo de la herramienta de software para la automatización de la construcción del catálogo de servicios de tecnologías de la información

En este apartado se describe el desarrollo de la herramienta de software basado en la ITSCCM que se detalla en la tabla 1.

4.1. Plataformas utilizadas para la construcción de la herramienta de software

Para la construcción de la herramienta de software se utilizaron las siguientes plataformas:

Microsoft SQL- Server. – Se utilizó para almacenar las bases de datos que registran las solicitudes, el ITSRC y el ITSC generado.

Microsoft Visual Studio 2019. – Se utilizó para crear el módulo que aplica ML para la determinación de los ITS incluidos en el ITSC. Dentro de Visual Studio se ha utilizado el lenguaje C# para la construcción de la aplicación con el Framework 4.7.2 en una arquitectura de 64 bits, también se utilizó el componente ML de Microsoft en su versión 1.5.0 para el aprendizaje y cotejamiento de solicitudes.

4.2. Proceso de construcción de la herramienta de software

Aplicando el protocolo correspondiente que incluye: la selección de las bases de datos origen del conocimiento, la obtención del ITSRC único, la creación de la estructura y la transferencia de las solicitudes a la estructura creada, se obtuvo una base de datos llamada C, con una tabla llamada “mensajes” con dos campos, SERVICIO Y SOLICITUD, que almacena el conocimiento base para la etapa de aprendizaje. En este caso se trabajó con solicitudes en idioma español.

Una vez que se realizó la extracción del conocimiento, se construyó el módulo que aplica ML para “aprender” del conocimiento almacenado. Para esto, se creó una solución que inicialmente contenía un proyecto tipo “Windows Forms Application” utilizando el lenguaje C#. Luego, mediante el uso de la herramienta ML.NET Model Builder, se aplicó la opción “Issue Classification” para que se realice el proceso de aprendizaje tomando como insumo el “conocimiento” almacenado en la base de datos C. El entrenamiento del modelo se realizó por un lapso de 120 segundos, obteniendo una precisión general de 95.24%, alcanzado por el algoritmo “SdcaMaximumEntropyMulti”, tal como se muestra en la figura 1.

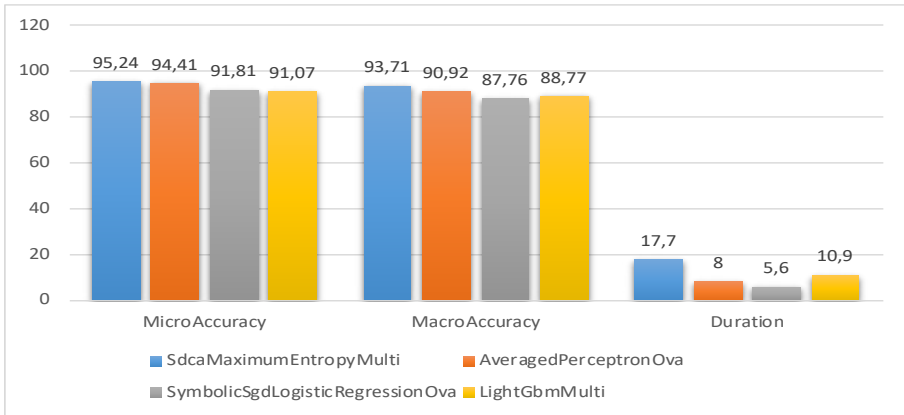


Figura 1 – Estadística de algoritmos aplicados

Una vez que terminó el entrenamiento, se generaron dos proyectos adicionales de manera automática, de esta manera la solución se conformó de tres proyectos (figura 2).

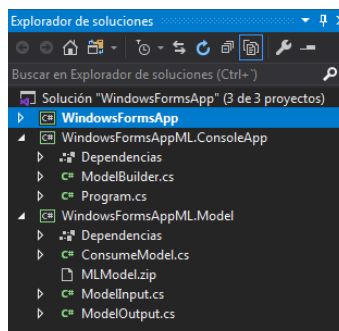


Figura 2 – Solución creada en Visual Studio 2019

Siguiendo el protocolo, que incluye ML para la identificación de ITS, se construyó una aplicación, que entre otros componentes incluye un formulario para el ingreso y procesamiento de solicitudes, que se tomará como referencia (figura 3).

Figura 3 – Formulario para la construcción del ITSC

En el formulario (figura 3) el usuario puede ingresar solicitudes de manera individual o grupos de solicitudes guardadas en una hoja de cálculo formateada a una columna con un encabezado, una vez cargadas las solicitudes el procesamiento se realiza presionando el botón “Procesar lista”. Este formulario permite lo siguiente:

1. Crear una nueva base de datos con las tablas ITSC, RESOLUCIONES, SOLICITUD
2. Ingresar las solicitudes del formulario en la tabla SOLICITUD
3. Cargar el modelo entrenado

4. Recorrer la tabla SOLICITUD registro a registro
 - a. Seleccionar el detalle de la solicitud
 - b. Remover las Stopwords de la cadena de caracteres
 - c. Transformar a minúsculas la cadena de caracteres
 - d. Cotejar la solicitud utilizando el modelo de ML
 - e. Comparar el porcentaje de coincidencia, en este caso con un mínimo del 70%
 - f. Registrar la resolución del cotejamiento en las tablas ITSC para el servicio (con base en la tabla ITSRC de la base de datos que contiene dicho catálogo), y RESOLUCIONES para el detalle.
5. Mostrar el formulario de “Catálogos generados”, que permite visualizar el catálogo que ha sido generado

4.3. Resultados de la ejecución del software

Cuando se ejecuta el formulario (figura 3), se realiza la construcción de un ITSC similar al que se muestra en la figura 4, donde se muestran también las resoluciones con el porcentaje de coincidencia.

Figura 4 – Formulario de Catálogos generados, vista del catálogo

En la lista tipo árbol titulada “Detalle del catálogo generado” se muestran las categorías con sus respectivos servicios, y a la derecha aparecen los atributos de cada servicio que deben ser personalizados; por otra parte, el detalle de las resoluciones se pueden mostrar presionando el botón “Resoluciones”, para visualizar la resolución de cotejamiento que ha producido el software a partir de las solicitudes cargadas en el primer formulario, las mismas que pueden ser ordenadas por cualquiera de las columnas mostradas en la tabla (figura 5).

Categoría	Servicio	Solicitud	Porcentaje
Gestión de infraestructura	Administración de datacenter	Los fallos de equipamiento e infraestructuras	92,4044
Gestión de infraestructura	Administración de datacenter	Los fallos de equipamiento e infraestructuras	92,4044
Gestión de laptop y desktop	Hardware	Los fallos de equipamiento area directiva comput...	91,83205
Gestión de laptop y desktop	Hardware	Teclado en mal estado	87,90001
Gestión de laptop y desktop	Hardware	el raton esta fallando	83,19067
Gestión de laptop y desktop	Hardware	Informan que la microcomputadora está lista para...	87,54883
Gestión de laptop y desktop	Hardware	Apaga la microcomputadora y alerta que no se u...	97,63855
Gestión de redes LAN y WAN	Administración de WAN	CORTE DE FIBRA	95,9597
Gestión de redes LAN y WAN	Administración de LAN	Fallo de comunicaciones	97,76784
Gestión de redes LAN y WAN	Administración de LAN	reestructura de topologia	92,35966
Gestión de redes LAN y WAN	Administración de LAN	cambio de canaletas	93,36423
Gestión de redes LAN y WAN	Administración de LAN	fallo en la redes area 02	94,53336

Figura 5 – Formulario de Catálogos generados, detalle de resolución de solicitudes

5. Resultados de la valoración de la herramienta de software

En este apartado se muestran los resultados obtenidos a partir de la encuesta aplicada a los profesionales de TI considerados en este estudio, para validar la fiabilidad del instrumento y la valoración de los profesionales de TI.

5.1. Análisis de fiabilidad del instrumento

Al realizar el análisis de fiabilidad al instrumento utilizado mediante el alfa de Cronbach se obtuvo 0,816; calculado a partir de los datos generados desde la valoración de los 34 profesionales de TI; el valor obtenido equivale a que el instrumento es “Bueno”, lo que garantiza la fiabilidad del instrumento.

5.2. Resultados de la encuesta

A partir de la encuesta aplicada se han obtenido los siguientes resultados:

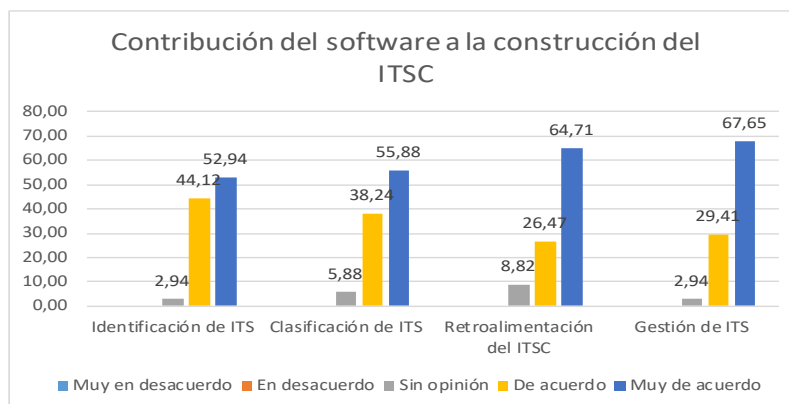


Figura 6 – Resultados de la encuesta

De acuerdo con la figura 6 los resultados son:

1. La herramienta propuesta permite realizar la identificación de servicios de TI de manera automática

R. El 52,9% de los encuestados manifestaron estar “muy de acuerdo”, un 44,12% afirmaron estar “de acuerdo” y un 2,94% “sin opinión” acerca de que el software permite realizar la identificación de ITS de manera automática.

2. La herramienta propuesta permite realizar la clasificación de servicios de TI de manera automática

R. El 55,88% de los encuestados manifestaron estar “muy de acuerdo”, un 38,24% afirmaron estar “de acuerdo” y un 5,88% “sin opinión” acerca de que el software permite realizar la clasificación de ITS de manera automática.

3. La herramienta propuesta permite realizar la retroalimentación del catálogo de servicios de TI de manera automática

R. El 64,71% de los encuestados manifestaron estar “muy de acuerdo”, un 26,47% afirmaron estar “de acuerdo” y un 8,82% “sin opinión” acerca de que el software permite realizar la retroalimentación del ITSC de manera automática.

4. La herramienta propuesta contribuye a la automatización de la gestión de los servicios de TI

R. El 67,65% de los encuestados afirmaron estar “muy de acuerdo”, un 29,41% afirmaron estar “de acuerdo” y un 2,94% “sin opinión” acerca de que el software contribuye a la automatización de la ITSM.

6. Discusión

La ITSM plantea el uso de herramientas como el ITSP y el ITSC en las organizaciones, en la actualidad varias de las actividades inherentes a la construcción y gestión del ITSC (ITSCM), especialmente la identificación de ITS, ha sido investigada desde diversos ángulos (Mera & Aguilar, 2019), y se han desarrollado métodos para la identificación de ITS; sin embargo, cuando se trata de propuestas que utilicen ML como principio para realizar esta actividad, son muy pocos los estudios que se han realizado; por lo tanto, a nivel de identificación de ITS los resultados de esta investigación son un aporte muy importante, esto se evidencia en la clara tendencia mostrada en los resultados de la valoración del software por parte de profesionales de TI.

La clasificación de los ITS es una actividad muy importante para lograr conformar el ITSC, esta actividad ha sido muy bien valorada por lo profesionales de TI encuestados. La herramienta de software presentada y valorada realiza la clasificación de ITS de manera automática utilizando como base un ITSRC; sin embargo, esta práctica ya ha sido utilizada anteriormente en investigaciones como las desarrolladas por (Gama et al., 2013; Arcilla et al., 2013). Por lo tanto, el aporte que realiza esta investigación a la actividad de clasificación de ITS es la automatización del proceso, y también el uso de un ITSRC “actualizado” que fue producto de la integración de otros ITSC disponibles en la literatura, este proceso de integración fue realizado por (Mera & Aguilar, 2019), que es la base teórica para la construcción de esta herramienta de software.

De acuerdo con (Mera & Aguilar, 2018a) muy pocos estudios han abordado la retroalimentación de ITSC, y de estos pocos estudios ML es una herramienta que casi no ha sido utilizada; por lo tanto, el aporte de esta investigación es muy importante, ya que los profesionales de TI se han manifestado de forma favorable en esta actividad al momento de valorar la herramienta de software propuesta.

Desde el año 2018 la adopción de IA se ha incrementado considerablemente en las organizaciones (Glitschert, 2020), donde la ITSM juega un papel fundamental para gestionar apropiadamente los ITS, en este aspecto la herramienta de software que ha sido presentada en esta investigación, ha logrado resultados muy favorables sobre su nivel de contribución a la automatización de la ITSM de manera general, ya que lleva a la práctica una de las tendencias actuales a nivel de gestión, mediante una herramienta que puede seguir siendo mejorada y adaptada a otros idiomas y contextos.

7. Conclusiones

Al finalizar este trabajo de investigación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Es posible utilizar las bondades de ML para automatizar la actividad de identificación de ITS y la conformación del ITSC en las organizaciones, mediante el uso del software planteado en este estudio.

El uso de ITSRC es una práctica recomendable para la construcción de ITSC, y se puede realizar mediante el uso de la herramienta de software basada en la ITSCCM para realizar la clasificación de ITS de manera automática.

La retroalimentación del ITSC puede ser desarrollada aplicando ML con el objetivo de automatizarla, de esta manera la herramienta de software propuesta permitirá la vigencia del ITSC en el tiempo.

La herramienta de software propuesta puede contribuir positivamente a la ITSM mediante sus procesos automáticos basados en TM y ML, aportando a la inclusión de IA en las actividades que desarrollan las organizaciones en lo referente a la ITSCM.

Finalmente, esta herramienta de software está disponible para que otros profesionales de TI la puedan descargar y probar con el objetivo de mejorarla, el enlace es: https://github.com/ElangelC/ITSC_Software_Desktop_x64.

Referencias

- Aguilar Alonso, I., Carrillo Verdún, J., & Tovar Caro, E. (2017). Description of the structure of the IT demand management process framework. *International Journal of Information Management*, 37(1, Part A), 1461-1473. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.004>
- Ali, A. R. (2018). Cognitive Computing to Optimize IT Services. *2018 IEEE 17th International Conference on Cognitive Informatics Cognitive Computing (ICCI*CC)*, 54-60. <https://doi.org/10.1109/ICCI-CC.2018.8482078>

- Arcilla, M., Calvo-Manzano, J. A., & San Feliu, T. (2013). Building an IT service catalog in a small company as the main input for the IT financial management. *Computer Standards & Interfaces*, 36(1), 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2013.07.003>
- Camiola, V. D., Mascali, G., & Romano, V. (2020). Maximum Entropy Principle. En V. D. Camiola, G. Mascali, & V. Romano (Eds.), *Charge Transport in Low Dimensional Semiconductor Structures: The Maximum Entropy Approach* (pp. 29-46). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35993-5_2
- Gama, N., Rosa, M. do M., & Silva, M. M. da. (2013). IT Services Reference Catalog. *2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013)*, 764-767.
- Glintschert, M. (2020). *AI-Driven IT and Its Potentials – A State-of-the-Art Approach* (SSRN Scholarly Paper ID 3576417). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3576417>
- He, K., Zhang, M., Zhou, J., Jin, Y., & Li, C. (2020). Stochastic Item Descent Method for Large Scale Equal Circle Packing Problem. *arXiv:2001.08540 [cs, math]*. <http://arxiv.org/abs/2001.08540>
- Huanca, J. (2018). La falsa percepción en la seguridad de los sistemas informáticos. *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8235>
- Kalia, A. K., Xiao, J., Bulut, M. F., Vukovic, M., & Anerousis, N. (2017). Cataloger: Catalog Recommendation Service for IT Change Requests. *Service-Oriented Computing*, 545-560. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69035-3_40
- Kalia, A., Khandekar, R. M., Xiao, J., Batta, R., Vukovic, M., & Ayachitula, N. A. (2020). *Method and system to compute automation opportunities from change and service tickets* (United States Patent N.º US20200067798A1). <https://patents.google.com/patent/US20200067798A1/en>
- Kattenstroth, H., & Heise, D. (2011). Towards a Method for IT Service Management. *The Practice of Enterprise Modeling*, 178-192. https://doi.org/10.1007/978-3-642-24849-8_14
- Khafajeh, H. (2020). An efficient intrusion detection approach using light gradient boosting. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98(5), 825-835.
- McLeod, S. (2019). *Likert Scale Definition, Examples and Analysis | Simply Psychology*. <https://www.simplypsychology.org/likert-scale.html>
- Meister, V. G., & Jetschni, J. (2015). Towards a semantic information system for IT services. *2015 IEEE Seventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, 58-65. <https://doi.org/10.1109/IntelCIS.2015.7397197>
- Mera, C., & Aguilar, I. (2018a). Review of Proposals for the Construction and Management of the Catalog of Information Technology Services. *IEEE Access*, 6, 45335-45346. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2865470>

- Mera, C., & Aguilar, I. (2019). Proposal for the Identification of Information Technology Services in Public Organizations. *Symmetry*, 11(10), 1269. <https://doi.org/10.3390/sym11101269>
- Mera, C., & Aguilar, I. (2018b). Field Study of the Management of the IT Services Catalog in Public Organizations in the Manabí Province, Ecuador. *Proceedings of the 31st International Business Information Management Association Conference (IBIMA)*, 4450-4465.
- Mera, C., Aguilar, I., & Vera, D. (2020). *Método para la retroalimentación del catálogo de servicios de tecnologías de la información*. II Jornada Científica Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Manabí - Uleam Extensión Chone, Ecuador, Chone, Ecuador.
- O'Loughlin, M. (2009). *The service catalog—A Practitioner Guide*.
- Pilorget, L., & Schell, T. (2018). IT Services. En L. Pilorget & T. Schell (Eds.), *IT Management: The art of managing IT based on a solid framework leveraging the company's political ecosystem* (pp. 73-95). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19309-6_4
- Rajagopal, S., Hareesha, K. S., & Kundapur, P. P. (2020). *Performance analysis of binary and multiclass models using azure machine learning*. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i1.pp%p>
- Xu, J., Mu, J., & Chen, G. (2020). A multi-view similarity measure framework for trouble ticket mining. *Data & Knowledge Engineering*, 101800. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2020.101800>

Evaluación del desempeño en tiempos de respuesta para bases de datos SQL, NoSQL y NewSQL

Katherine Lasluisa¹, Miguel Alfredo Gaibor Saltos¹, Paúl Francisco Baldeón Egas¹, Renato M. Toasa¹

katherinelasluisa@hotmail.com; canceller@uisrael.edu.ec;
pbaldeon@uisrael.edu.ec; rtoasa@uisrael.edu.ec

¹ Universidad Tecnológica Israel, Quito Ecuador

Pages: 28–40

Resumen: Actualmente uno de los mayores desafíos al almacenar datos es la rapidez en las transacciones. Existen diferentes tipos de bases de datos que pueden utilizarse; relacionales (SQL), no relacionales (NoSQL) y NewSQL. Cada una de ellas puede ser más eficiente, si se comparan en un caso concreto. Este trabajo propone un estudio comparativo del rendimiento de estas bases de datos, en un mismo entorno, las pruebas se realizan con la misma carga de escritura y lectura, en función de los tiempos de respuesta de cada base de datos; se trabajó con 7'657.800 datos. El resultado muestra que MemSQL Helios es más potente, ya que hubo una diferencia de 17 y 7 minutos en comparación con una base de datos SQL (PostgreSQL) y NoSQL (MongoDB) respectivamente, de forma general, se define que MemSQL Helios responde a milisegundos y las bases de datos SQL y NoSQL responden a segundos.

Palabras-clave: base de datos; rendimiento; respuesta; datos; Pentaho; ETL

Performance evaluation of response times for relational, non-relational and NewSQL databases

Abstract: One of the biggest challenges in storing data today is the speed of transactions. There are different types of databases that can be used; relational (SQL), non-relational (NoSQL) and NewSQL. Each one of them can be more efficient, if compared in a specific case. This work proposes a comparative study of the performance of these databases, in the same environment, the tests are performed with the same load of writing and reading, depending on the response times of each database; we work with 7'657.800 data. The result shows that MemSQL Helios is more powerful, as there was a difference of 17 and 7 minutes compared to a SQL (PostgreSQL) and NoSQL (MongoDB) database respectively. Generally speaking, MemSQL Helios is defined as responding in milliseconds and SQL and NoSQL databases respond in seconds.

Keywords: database; performance; answer; data; Pentaho; ETL

1. Introducción

Con la creciente explosión de datos, debido a las redes sociales, IoT, big data, realidad virtual, entre otras fuentes, se han creado nuevas tecnologías que permiten el almacenamiento de grandes volúmenes de datos, con formatos heterogéneos. Los diversos administradores de bases de datos proporcionan múltiples beneficios en diferentes aspectos, como la escalabilidad, la velocidad, etc., esto no significa que reemplacen completamente los sistemas que han funcionado hasta ahora. Sin embargo, es necesario conocer los beneficios de estas herramientas en aplicaciones informáticas (Rudolf, 2017). Las necesidades más comunes que surgen al extraer información de las bases de datos, ya que las bases de datos tienen problemas lentos, debido a sobrecargas, exceso de usuarios, tamaño de archivo, entre otros, lo que implica que es necesario aumentar la velocidad de extracción para mejorar los tiempos de respuesta de la base de datos (Bouganin, 2017).

Estos temas son muy importantes y varios trabajos relacionados con la evaluación de bases de datos son evidentes en la literatura, inicialmente en (Flores et al., 2018) *right, quickly and easy access information. Therefore, governments are forced to implements or improve information systems with modern technologies. This research work is focused on the research of responses times on relational and non-relational data base models in an experimental data base system provided by the Función Judicial del Ecuador. The data is migrated for load in NoSQL allotment, and the performance tests is obtained a document-oriented data model. With these tests we could know the best database, focusing all on response time of data queries that have been used on performance tests. In addition, we evaluate the performance before and after the relational database administration system (RDBMS, se realiza una comparación de bases de datos relacionales y no relacionales, con datos de una institución gubernamental en Ecuador donde muestran que MongoDB con respecto a SQL Server tarda menos tiempo en resolver consultas, manteniendo una pequeña variable de tiempo de respuesta que tiende a disminuir, en cambio, en (Kepner et al., 2016), presenta un modelo relacional de SQL en términos de matrices asociativas e identifica las propiedades matemáticas clave que se conservan dentro de SQL , los resultados muestran que el intercambio de datos y las consultas de ejecución podrían optimizarse.*

Estas bases de datos se han integrado con nuevas tecnologías emergentes, y una prueba de esto es que se han integrado con Internet of Things IOT, y sus transacciones se han evaluado con datos de múltiples sensores (Fatima & Wasnik, 2016). También se han integrado con Big Data (Raj, 2018), con sensores inteligentes (Rudolf, 2017), entre otros.

La evaluación del desempeño es una actividad que ha tomado mucha importancia en todas las áreas tecnológicas, las evaluaciones se realizan en entornos de realidad virtual y aumentada (Toasa et al., 2019), en sistemas de transporte utilizando lógica difusa (Rajak et al., 2016), sistemas foto voltaic-cos (Charfi et al., 2018) y entonces se pueden enumerar múltiples áreas.

Por todas las razones anteriores, este documento propone un análisis comparativo de las bases de datos relacionales, no relacionales y NewSQL, nos hemos centrado en los parámetros que son importantes para el estudio de caso, tales como: tiempo de escritura, tiempo de lectura, escalabilidad, calidad de datos, soporte del fabricante,

conectores con otras plataformas, experiencia en equipos técnicos. Este proceso se lleva a cabo con datos que contienen información de una biblioteca. Todas las mediciones se realizaron en el mismo equipo para evitar cualquier sesgo, con el resultado del estudio se emiten respuestas específicas sobre el desempeño factible de las bases de datos, manteniendo la integridad de la información para la toma de decisiones estratégicas y gerenciales.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera, la sección 2 describe el problema que motiva el desarrollo de este trabajo, la sección 3 los materiales y métodos utilizados, en la sección 4 la evaluación de los parámetros, los resultados obtenidos se detallan en la sección 5 y finalmente en la sección 6 se describen las conclusiones.

2. Definición del problema

Actualmente, en esta era de tecnología digital, se generan grandes cantidades de datos exponencialmente todos los días, dicha información debe usarse ya que permite a las empresas tomar mejores decisiones, pero cada motor de base de datos tiene sus particularidades, tales como: concurrencia, tiempo de respuesta, cantidades de almacenamiento, tipo de datos, infraestructura, etc. En las empresas pequeñas, medianas y grandes al iniciar el almacenamiento de datos, algunos aspectos no se consideran, lo que con el tiempo tiene sus consecuencias, por ejemplo, los recursos que tendrá la infraestructura en la que se montará, gestor de bases de datos, número de registros a almacenar, periodicidad, tiempos de inserción, tiempos de consulta, licencias, integración con aplicaciones internas y externas, entre otros (Gudivada et al., 2015).

Este problema se acompaña del mal manejo de las bases de datos por parte del área de tecnología, ya que hay algunas personas que no experimentan el conocimiento o la búsqueda de otras bases de datos que no son comúnmente relacionales o tradicionales, y el hecho de no tener tales conocimientos limita a la empresa a no innovar o tener más opciones de inversión.

Estos problemas afectan a todas las tecnologías de bases de datos que se utilizan en el presente trabajo y se detallan a continuación:

- Base de datos relacional: es una colección de elementos de datos con relaciones predefinidas entre ellos. Estos elementos están organizados como un conjunto de tablas con columnas y filas (Khasawneh et al., 2020).
- Bases de datos no relacionales: están diseñadas específicamente para modelos de datos específicos y tienen esquemas flexibles para crear aplicaciones modernas (Khasawneh et al., 2020).
- NewSQL: es un nuevo enfoque de las bases de datos relacionales que quiere combinar las garantías de ACID transaccional (atomicidad, consistencia, aislamiento, durabilidad) de los viejos RDBMS y la escalabilidad horizontal del NoSQL DD (Schreiner et al., 2019).

Este trabajo se enfoca en estas bases de datos para identificar los problemas que tienen en aspectos del tiempo de transacción.

3. Proceso de Evaluación

Las bases de datos son el método preferido para almacenar grandes cantidades de datos, desde una aplicación multiusuario, desde teléfonos inteligentes hasta diarios electrónicos, utilizando tecnologías de bases de datos para garantizar la integridad y confiabilidad de los datos (Khumnin & Senivongse, 2017).

Desde el punto de vista computacional, hay dos tipos de estructura de datos, como los datos estructurados que se usan en bases de datos relacionales (SQL) y los datos no estructurados que usan las bases de datos no relacionales (NoSQL) (Flores et al., 2018). Las bases de datos NoSQL no siguen un modelo relacional y proporcionan una escala simple, pero con un rendimiento más alto que los sistemas de bases de datos relacionales, sin embargo, dado que estos dos escenarios existen, muchos sistemas comerciales que manejan datos de alto perfil que también deberían poder escalar, pero no pueden usar soluciones NoSQL porque no pueden renunciar a las propiedades de ACID debido a las débiles garantías de consistencia que tienen las bases de datos NoSQL. A principios del siglo XXI, comenzó a proponerse un nuevo modelo llamado NewSQL, donde es posible combinar la transaccionalidad de los motores relacionales y la disponibilidad de motores no relacionales para una alta redundancia de datos y confiabilidad (Szymańska, 2018).

La Tabla 1. Muestra una comparación entre SQL, NoSQL y NewSQL.

Descripción	Relacional	No Relacional	NewSQL
<i>Modelo de datos</i>	Normaliza los datos en tablas conformadas por filas y columnas. Define estrictamente relación entre tablas	Proporciona una variedad de modelos de datos, como pares clave/valor, documentos y gráficos.	Estructura de datos flexible en donde es posible combinar la transaccionalidad y alta redundancia.
<i>Cargas de trabajo óptima</i>	Están diseñadas para aplicaciones de procesamiento de transacciones online (OLTP) y procesamiento analítico online (OLAP).	Las bases de datos de búsqueda NoSQL están diseñadas para hacer análisis sobre datos semiestructurados.	Alto rendimiento para cargas de trabajo OLTP/OLAP.
<i>Escalabilidad</i>	Escalabilidad vertical, crecimiento de la cantidad de nodos de almacenamiento depende de la estructura tecnológica física.	Escalabilidad horizontal y se distribuye la carga por todos los nodos.	Escalabilidad horizontal proporcionando un alta rendimiento en una amplia gama de plataformas.
<i>Propiedades ACID</i>	Las bases de datos relacional ofrecen propiedades de atomicidad, coherencia, aislamiento y durabilidad (ACID).	Las bases de datos NoSQL hacen concesiones al flexibilizar algunas de las propiedades ACID para un modelo de datos más flexible.	Mantiene las propiedades de ACID de un sistema de base de datos tradicional o relacional.
<i>Tolerancia a fallos</i>	Fallo en el nodo generalmente hará fallar la consulta.	Configurados para que la pérdida de algunos nodos no interrumpa funcionamiento global.	Crash Recovery: Las bases de datos NewSQL tienen un mecanismo que les permite recuperar datos y pasar a un estado coherente.

Tabla 1 – Tabla comparativa entre base de datos (Flores et al., 2018; Fatima & Wasnik, 2016).

El objetivo de esta investigación es realizar un estudio comparativo del rendimiento de las bases de datos relacionales (SQL), no relacionales (NoSQL) y NewSQL, que permitan medir el desempeño de cada uno de los sistemas, con los resultados obtenidos es posible saber cuándo son óptimos o no estos sistemas.

3.1. Base de datos a utilizar

Para la investigación se utilizó datos de una biblioteca, la cual consta de cuatro tablas (libro, bibliotecario, lector y préstamo). En la Tabla 2. se indica los gestores de bases de datos a comparar son los siguientes:

Tipo de Base de datos	Gestor de base de datos
Relacional	PostgreSQL 9.6
No Relacional	MongoDB 4.2
NewSQL	MemSQL Helios 7.0

Tabla 2 – Gestores de base de datos y sus versiones

El modelo presentado en la Figura 1. Se utilizó para el diseño de las tres bases de datos, la tabla principal o transaccional es la tabla préstamo pues en ella se relacionan por medio de sus id las demás tablas (libro, préstamo y lector) y por medio de los id se puede llegar a la información de cada registro.

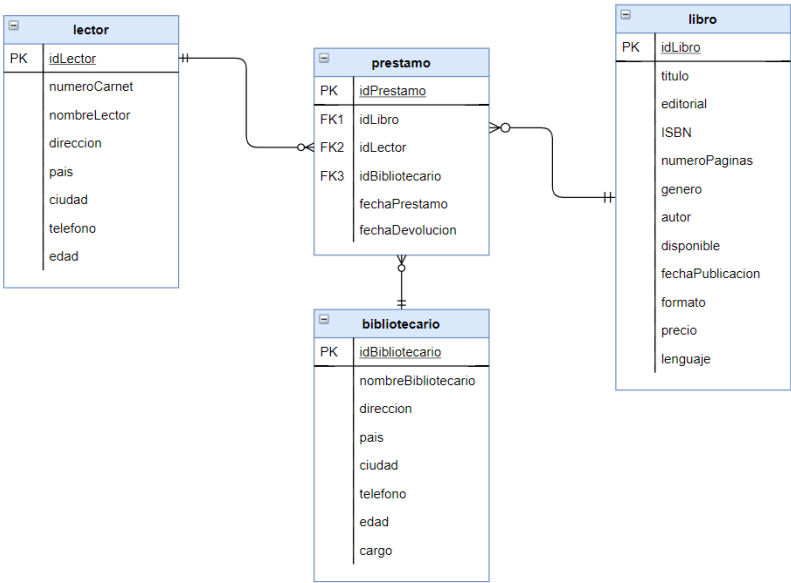


Figura 1 – Modelo de base de datos de biblioteca

El proceso de integración se lo realizó con Pentaho Data Integration (PDI) que permite que se utilice técnicas ETL (Extract, Transform and Load) haciendo el proceso de limpieza de datos y finalmente depositando en las bases de datos correspondientes. En la Figura 2. se puede observar el job realizado para realizar dicho proceso.

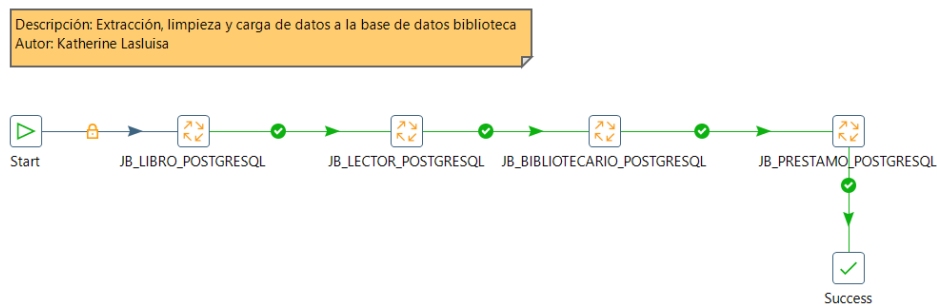


Figura 2 – ETL Base de datos biblioteca

Las tablas de la base de datos de biblioteca mencionada anteriormente, tiene los siguientes detalles que se muestran en la Tabla 3.

Tabla	Descripción de tablas	
	Cantidad de registros	Tipos de datos
libro	1 268 690	Serial, varchar, text, boolean, int, timestamp
lector	1 344 624	Serial, varchar, int
bibliotecario	1 344 624	Serial, varchar, int
prestamo	7 657 800	Serial, timestamp, int

Tabla 3 – Descripción de las tablas

Conociendo la cantidad de registros y tipos de datos de cada tabla, se dará un peso a cada uno de los parámetros mencionados anteriormente de acuerdo con la importancia para el caso de estudio. Para el análisis de resultados que se obtendrán se ha tomado como base comparaciones cualitativas y cuantitativas previamente analizadas al momento de impartir las estrategias de optimización del rendimiento a nivel de base de datos. En la Tabla 4 se detalla el peso de cada parámetro para una puntuación global, tomando los puntos de mayor relevancia que diferencian a las bases de datos:

Indicador	Parámetros	Valor %
Velocidad	Tiempo de escritura	30
	Tiempo de lectura	30
Datos	Calidad de los datos	10
	Escalabilidad	10

Indicador	Parámetros	Valor %
<i>Características adicionales</i>	Soporte de fabricante	5
	Conectores con otras plataformas	10
	Experiencia en equipo técnico	5

Tabla 4 – Parámetros de medición

3.2. Escenarios de medición

Para el escenario de medición se utilizó dos computadoras personales, una computadora se utilizó para los gestores de bases de datos PostgreSQL y MongoDB que se encuentran dockerizadas en Docker, porque no se cuenta con los recursos computacionales que abastezca para montar los dos escenarios a la vez, MemSQL Helios es una plataforma en la nube así que no ocupa recursos computacionales. La segunda computadora se utilizó para Pentaho Data Integration (PDI), ya que, para la carga de datos masivos se requiere de un step llamado MySQL Bulk Loader que solo es aplicable en ambientes Linux porque utiliza un archivo fifo como canalización, por esta razón no funciona en Windows. En las Tabla 5 se muestra las características de las PC's.

Sistema Operativo	Descripción		
	Memoria Ram	Procesador	Tipo de sistema
<i>Windows 10</i>	16 GB	Intel Core i7 2.21 GHz	x64
<i>Ubuntu 6.8</i>	7 GB	Intel Core i7 2.21 GHz	x64

Tabla 5 – Descripción de funcionalidades PC

4. Evaluación de parámetros

En cuanto a los análisis de tiempos de escritura y lectura se realiza mediante escalas mediante los parámetros de medición mencionados en la Tabla 4., obteniendo como resultado el valor en porcentaje en la Tabla 6.

Tiempos	Porcentaje valor
<i>X (valor menor)</i>	100 %
<i>X + 25% > X</i>	75 %
<i>X + 50% > X</i>	50 %
<i>X + 75% > X</i>	25 %
<i>>X + 100%</i>	0 %

Tabla 6 – Escala de tiempos

Tiempos de escritura. - La evaluación de este parámetro se realizó mediante las pruebas de inserción de datos a cada motor de bases de datos y se logró captar que el número de transacciones por segundo fue alrededor de 1000 registros, los cuales dan como resultado un tiempo de inserción, a estos datos se aplicó una fórmula de promedio. En la Tabla 7 muestra los tiempos en minutos:

Tablas	PostgreSQL	MongoDB	MemSQL Helios
<i>libro</i>	4 m	6 m	3 m
<i>lector</i>	4 m	4 m	3 m
<i>bibliotecario</i>	3 m	3 m	3 m
<i>prestamo</i>	27 m	17 m	10 m
<i>Total</i>	38 m	30 m	19 m

Tabla 7 – Medición Parámetro - Tiempo de escritura

Las mediciones realizadas sobre las bases de datos dieron como resultado que MemSQL tiene el menor tiempo de carga, por lo que obtiene el cien por ciento de la mayor calificación (30), en el caso de MongoDB tuvo un equivalente de + 25%, y finalmente en el caso de PostgreSQL un equivalente de + 25%, como se muestra en la Tabla 8 y Figura 3.

Base de datos	Tiempo de medicion	Porcentaje	Valor Global
<i>MemSQL Helios</i>	19m	100%	30
<i>MongoDB</i>	30m	75%	22,5
<i>PostgreSQL</i>	38 m	75%	22,5

Tabla 8 – Medición Parámetro - Tiempo de escritura

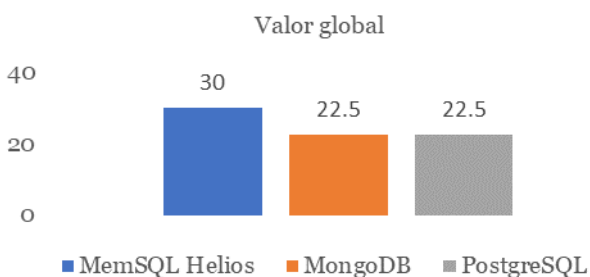


Figura 3 – Puntuación de tiempo de escritura

Tiempo de lectura. - La evaluación de este parámetro se realizó mediante las pruebas de consultas desarrolladas previamente en cada motor de bases de datos, los cuales

dan como resultado un tiempo de cada consulta, a estos datos se aplicó una fórmula de promedio. En la Tabla 9 muestra los tiempos en segundos:

Consulta	PostgreSQL	MongoDB	MemSQL Helios
Consulta 1 lectura de tablas	10 s	3 s	1 s
Consulta 2 join entre tablas	65 s	40 s	10 s
Total	75 s	43 s	11 s

Tabla 9 – Medición parámetro – Tiempo de lectura

Las mediciones realizadas sobre las bases de datos dieron como resultado que MemSQL tiene el menor tiempo de consulta, por lo que obtiene el cien por ciento de la mayor calificación (30), en el caso de MongoDB tuvo un equivalente de + 75%, y finalmente en el caso de PostgreSQL un equivalente de + 25%, como se muestra en la Tabla 10 y Figura 4.

Base de datos	Tiempo de medicion	Porcentaje	Valor Global
MemSQL Helios	11 s	100%	30
MongoDB	43s	75%	22,5
PostgreSQL	75 s	25%	7,5

Tabla 10 – Medición parámetro – Tiempo de lectura

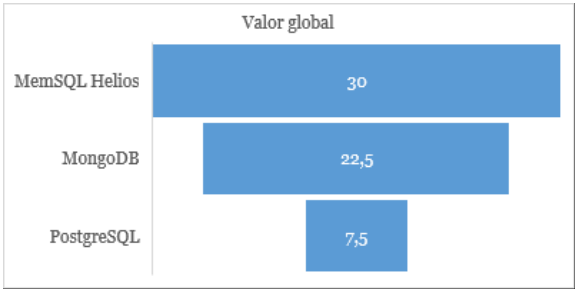


Figura 4 – Puntuación de tiempo de lectura

Calidad de datos. - El aseguramiento de la calidad se mide a través de los siguientes parámetros: consistencia, precisión o exactitud, duplicidad, integridad, (ver Tabla 11).

Base de datos	Cumple con calidad de datos	Valor global
MemSQL Helios	Sí	10
MongoDB	No	0
PostgreSQL	Sí	10

Tabla 11 – Puntuación de calidad de datos

Escalabilidad. – Existen dos tipos de escalabilidad:

La escalabilidad vertical o hacia arriba, este es el más simple ya que significa añadir o actualizar más recursos a un nodo particular del sistema, para mejorar el rendimiento del sistema global.

La escalabilidad horizontal, es el más potente, pero también el más complicado. Este modelo implica añadir varios servidores conocidos como nodos, para dar más potencia a la red de trabajo. Se crea una red de servidores conocida como Clúster, con la finalidad de repartirse el trabajo entre los nodos existentes, (ver Tabla 12).

Base de datos	Escalabilidad	Tipo de escalabilidad	Valor global
MemSQL Helios	Sí	Horizontal	10
MongoDB	Sí	Horizontal	10
PostgreSQL	Sí	Vertical	10

Tabla 12 – Puntuación de facilidad de escalabilidad

Soporte del fabricante. – La finalidad del soporte técnico es brindar ayuda a los usuarios para que puedan resolver ciertos problemas y se muestran en la Tabla 13.

Base de datos	Soporte del fabricante	Valor global
MemSQL Helios	Sí	5
MongoDB	Sí	5
PostgreSQL	Sí	5

Tabla 13 – Puntuación del soporte del fabricante

Conectores con otras plataformas. – En este parámetro se considera la facilidad de integración con los principales fabricantes de herramientas de BI, tales como: Spark, Colibra, Power BI, Tableau, Talend with Open Studio, Zoomdata, Looker, StreamSets, Dremio, etc, (ver Figura 5).

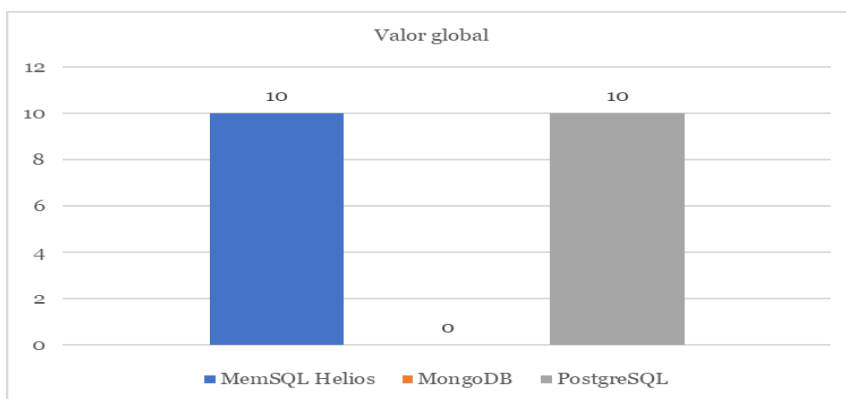


Figura 5 – Puntuación de conectores con otras plataformas

Experiencia en equipo técnico. – En este parámetro se considera la facilidad con la que el equipo técnico tiene para implementar y administrar los motores de bases de datos, esto se muestra en la Tabla 14.

Base de datos	Experiencia en equipo técnico	Valor global
MemSQL	Sí	5
MongoDB	No	0
PostgreSQL	Sí	5

Tabla 14 – Puntuación de experiencia en equipo técnico

5. Resultados

Después de realizar las mediciones de los parámetros establecidos, obtenemos el resultado detallado en la Tabla 15:

Parámetros	PostgreSQL	MongoDB	MemSQL Helios
Tiempo de escritura	22,5	22,5	30
Tiempo de lectura	7,5	22,5	30
Calidad de datos	10	0	10
Escalabilidad	10	10	10
Soporte del fabricante	5	5	5
Conectores con otras plataformas	10	0	10
Experiencia en equipo técnico	5	0	5
Total	70	60	100

Tabla 15 – Resultados

Dicho resultado refleja que el motor de base de datos más óptimo para ambientes donde se requiere rapidez de inserción y consulta sin afectar la integridad y calidad de datos es MemSQL Helios, seguido por PostgreSQL que cumple con la mayor parte de los parámetros de medición y por último MongoDB que obtuvo menor valor en cada parámetro de medición, pero eso no significa que sea un mal motor de base de datos, simplemente hay que saber en qué entorno se implementa cada uno de estos.

6. Conclusiones

Al obtener los resultados del presente estudio comparativo de las bases de datos mencionadas en el documento, mediante la asignación de puntajes a los parámetros de lectura y escritura de los datos, se determina que MemSQL Helios tiene la mayor puntuación y es recomendable utilizarlo para aplicaciones que requieran carga de datos de forma continua o en masa, tiempos de respuesta casi inmediatos, ya que al ser una base de datos distribuida y relacional maneja transacciones y análisis en tiempo real a escala.

El problema de la escalabilidad horizontal en los sistemas que manejan bases de datos relacionales o tradicionales queda resuelto con las bases de datos NewSQL, específicamente con MemSQL Helios, cabe mencionar que al existir las bases de datos NoSQL son una competencia por su alta escalabilidad.

Sería erróneo decir que una sola tendencia o un solo sistema manejador de base de datos podría resolver todos los problemas, por lo que se puede concluir que a pesar de la evolución que han presentado las bases de datos en los últimos años, no hay una solución definitiva, es decir, al momento de escoger un motor de base de datos uno de los primeros factores que debe tomarse en cuenta es el problema que se desea resolver y dependiendo de las necesidades inherentes al problema, hallar una base de datos que convenga en el manejo y uso adecuado de los datos.

Referencias

- Bouganin, L. (2017). Query Load Balancing in Parallel Database Systems. In *Encyclopedia of Database Systems* (pp. 1–5). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7993-3_1080-2
- Charfi, W., Chaabane, M., Mhiri, H., & Bournot, P. (2018). Performance evaluation of a solar photovoltaic system. *Energy Reports*, 4, 400–406. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.06.004>
- Fatima, H., & Wasnik, K. (2016). Comparison of SQL, NoSQL and NewSQL databases for internet of things. *IEEE Bombay Section Symposium 2016: Frontiers of Technology: Fuelling Prosperity of Planet and People, IBSS 2016*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IBSS.2016.7940198>
- Flores, A., Ramirez, S., Toasa, R., Vargas, J., Barrionuevo, R. U., & Lavin, J. M. (2018). Performance Evaluation of NoSQL and SQL Queries in Response Time for the E-government. *2018 5th International Conference on EDemocracy and EGovernance, ICEDEG 2018*, 257–262. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2018.8372362>
- Gudivada, V. N., Rao, D., & Raghavan, V. V. (2015). *Renaissance in Data Management Systems : SQL , NoSQL , and NewSQL **.
- Kepner, J., Gadepally, V., Hutchison, D., Jananthan, H., Mattson, T., Samsi, S., & Reuther, A. (2016). Associative array model of SQL, NoSQL, and NewSQL databases. *2016 IEEE High Performance Extreme Computing Conference, HPEC 2016*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/HPEC.2016.7761647>
- Khasawneh, T. N., Al-Sahlee, M. H., & Safia, A. A. (2020). SQL, NewSQL, and NOSQL Databases: A Comparative Survey. *2020 11th International Conference on Information and Communication Systems, ICICS 2020*, 13–21. <https://doi.org/10.1109/ICICS49469.2020.239513>
- Khumnin, P., & Senivongse, T. (2017). SQL antipatterns detection and database refactoring process. *2017 18th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)*, 199–205. <https://doi.org/10.1109/SNPD.2017.8022723>

- Raj, P. (2018). A Detailed Analysis of NoSQL and NewSQL Databases for Bigdata Analytics and Distributed Computing. In *Advances in Computers* 109, 1–48. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.01.002>
- Rajak, S., Parthiban, P., & Dhanalakshmi, R. (2016). Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic. *Ecological Indicators*, 71, 503–513. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.031>
- Rudolf, C. (2017). SQL, noSQL or newSQL – comparison and applicability for Smart Spaces. *Seminars Future Internet (FI) and Innovative Internet Technologies and Mobile Communication (IITM)*.
- Schreiner, G. A., Knob, R., Duarte, D., Vilain, P., & Dos Santos Mello, R. (2019). NewSQL through the looking glass. *ACM International Conference Proceeding Series*, 361–369. <https://doi.org/10.1145/3366030.3366080>
- Szymańska, E. (2018). Modern data science for analytical chemical data – A comprehensive review. *Analytica Chimica Acta*, 1028, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2018.05.038>
- Toasa, R. M., Baldeón Egas, P. F., Gaibor Saltos, M. A., Perreño, M. A., & Quevedo, W. X. (2019). Performance Evaluation of WebGL and WebVR Apps in VR Environments. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11845 LNCS, 564–575. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33723-0_46

Propuesta de mejora del plan de gestión de mantenimiento basado en RCM y Lean Office en el proceso de inyección de polímeros

Marysabel Valenzuela Fuchs¹, Adrián Rodríguez-Cáceres¹, Ernesto Altamirano-Flores¹, Guillermo E. Marcelo Lastra¹ y José C. Álvarez Merino¹

U201514290@upc.edu.pe; u201516811@upc.edu.pe; pcinealt@upc.edu.pe;
pcinemar@upc.edu.pe y pciijalv@upc.edu.pe

¹ Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Prolongación Primavera 2390 – Surco, Lima 33, Lima, Perú

Pages: 41–51

Resumen: Se diseña una propuesta para mejorar la implementación del plan de gestión de mantenimiento en el proceso de moldeo por inyección de polímeros basado en la filosofía de las metodologías Lean Office y RCM. La aplicación se lleva a cabo en una empresa peruana de inyección de plástico donde se identificó el uso inadecuado del plan de Gestión de Mantenimiento, causado por la baja disponibilidad de repuestos y personal, el porcentaje de materia prima reprocesada y el deterioro de las Máquinas de moldeo. La importancia de resolver este problema es reducir la baja confiabilidad del equipo, la demora en la entrega de pedidos y la pérdida de producción. Los resultados esperados validado por la simulación de sistemas mostraron que la disponibilidad del personal aumentó a 83,07% y las paradas no planificadas de la máquina de inyección se redujeron en un 30%.

Palabras-clave: Inyección de plástico; Gestión de Mantenimiento; RCM; Lean Office; VSM; Simulación de Sistemas.

Proposal to improve the maintenance management plan based on RCM and Lean Office in the polymer injection process

Abstract: This professional project for the title of Industrial Engineer, design of a proposal to improve the implementation of the maintenance management plan in the polymer injection molding process based on the philosophy of the Lean Office and RCM methodologies. The application is carried out in a Peruvian plastic injection company where the damaged use of the Maintenance Management plan, the risk due to the low availability of spare parts and personnel, the percentage of raw material reprocessed and the treatment of the Machines were identified Molding The importance of solving this problem is to reduce the low reliability of the equipment, the delay in the delivery of orders and the loss of production. The expected results validated by the simulation of controlled systems that the availability of the personnel had an 83.07% and the unplanned stops of the injection machine were reduced by 30%.

Keywords: Plastic injection; Maintenance management; RCM; Lean office; VSM; Systems Simulation.

1. Introducción

Las nuevas tendencias como es la industria 4.0, trae consigo la automatización de los procesos, la digitalización de los sistemas de información y producción, con el fin de aumentar las capacidades de interacción e intercambio de información para el monitoreo y control de los procesos (Almada, 2016). Frente a este acontecimiento la gestión de Mantenimiento busca congeniar estrategias para poner fin a las problemáticas que enfrentan las empresas como son la inversión en equipos predictivos, las necesidades de capacitación del recurso humano para el manejo y aplicación de técnicas predictivas. Asimismo, José Larriviere, manifestó que dentro del sector formal del mantenimiento en el Perú se generan aproximadamente 200 millones de soles al año concluyendo así que es un mercado estable a pesar de que distintos hechos políticos y económicos han frenado el crecimiento de varias industrias (Agencia Peruana de Noticias, 2019).

Por otro lado, el plástico se ha convertido en el material estrella para diversos productos, su versatilidad permitió su incorporación a cualquier proceso productivo ganando un lugar sobresaliente en el conjunto de la economía. El IEES publicó que, durante los años 2013 y 2018, la producción de productos de plásticos se expandió 11,2% y creciendo a una tasa promedio anual de 2,2%. Así mismo, la importación de las máquinas de moldear por inyección en el 2006 mantuvo un porcentaje de 29.3% frente a otras maquinarias utilizadas para este material (Salazar, 2016). La consultora Grand View Research defiende que en el 2020 se estima terminar con 654.380 millones de dólares a nivel mundial. Por esta razón, las empresas involucradas no pueden darse el lujo de obviar la implementación de un plan de mantenimiento, puesto que estas máquinas son el eje para estas compañías (Vega, 2020).

La empresa elegida para el desarrollo de esta técnica posee 28 años en el mercado peruano dedicada a la fabricación de artículos plásticos. Durante el 2018, la empresa obtuvo la certificación ISO 9001 y se posicionó como una empresa de calidad dentro de este rubro; sin embargo, durante el siguiente año observaban que la confiabilidad de sus máquinas bajó y los mantenimientos no estaban siendo empleados de manera correcta. Es de conocimiento, que diversas empresas organizan un plan de mantenimiento con el fin de certificarse, pero muy pocas realizan un seguimiento o aplicación correcta. Con nuestra solución, buscamos que el plan actual de mantenimiento que la empresa maneja sea reforzado tanto por los procesos operativos como los administrativos.

2. Problema

En el año 2018, la empresa de producción de plásticos presentó que sólo el 57% de los pedidos están siendo entregados en el tiempo establecido y que sólo el 43% de las órdenes se desarrollaron en la fecha planificada al mes.

Ante análisis de registros y documentos, se observó que existía una gran cantidad de horas no aprovechadas relacionado a las máquinas, ya sea por su mantenimiento o fallas. Según la empresa, sólo el 10% de las horas laborales pueden ser toleradas en paradas por fallas u otros motivos (cabe resaltar que esto es fuera del mantenimiento que se les da a las máquinas) ya que tiene como política de que las máquinas no pueden dejar de producir para cumplir con el stock de 3 meses requeridos. Actualmente, la empresa desarrolla un mantenimiento Correctivo y Preventivo, sin embargo, el desarrollo de este ha hecho que las máquinas superen el porcentaje de inoperatividad mencionado anteriormente con un 11,51%.

Ante estos acontecimientos se pudo identificar las posibles causas iniciales como: (A) Alto Porcentaje de Mermas y Productos Defectuosos: De todo el material reprocesado el 3,31% representa los kilogramos de merma y el 2,73% los kilogramos de los productos fallidos. Así mismo, que los productos con mayor porcentaje de materia prima reprocesada son el asiento elongado (Tapa) con un 29,89%, el asiento elongado (Aro) con un 17,56%, el asiento elongado con caída simple con un 16,88% y el asiento liviano II con un 9,48% (B) Problemas con la eficiencia del personal operativo de Producción. En la actualidad, ni uno cumple con el porcentaje mínimo de 95% de eficiencia. El mínimo es de 79,4% y el máximo de 91,5%. (C) Paradas continuas de la máquina Inyectora: El tiempo que las máquinas realizan paradas equivale a un 11,5% de las horas programadas. Esta cifra significa un problema debido a que por política el tiempo que estas máquinas pueden estar sin producir es máximo un 10% contando las paradas previstas como imprevistas. Así mismo, las paradas imprevistas equivalen a un 7,5% con un tiempo de 226,99 horas pérdidas y las previstas con un 4% que equivale a 120,02 horas.

2.1. Impacto Económico

Según los cálculos realizados se obtuvo el impacto económico total según consumo de energía, Mano de Obra y Materia Prima:

Gastos Directos	Total (Soles/mes)	Total (Soles/año)
Mano de Obra	S/. 590.17	S/. 7,081.98
Luz Eléctrica	S/. 618.63	S/. 7,423.53
Materia Prima	S/. 3,573.06	S/. 42,876.70
Total	S/. 4,781.85	S/. 57,382.22

Tabla 1 – Eficiencia de la programación de Producción

Como conclusión el impacto económico es de S/.4.781,85 soles mensuales y S/.57.382,22 al año aproximadamente. Así mismo, las pérdidas representan un 20% de la ganancia neta mensual

2.2 Análisis de las causas

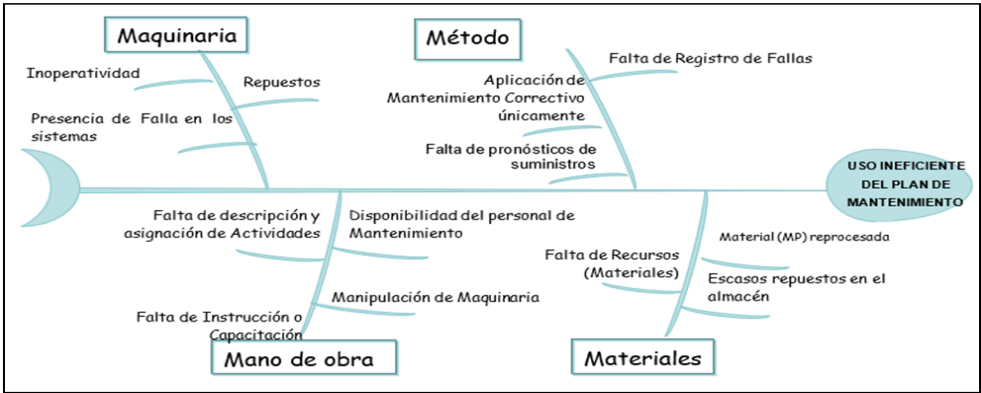


Figura 1 – Análisis de las Causas del Problema Principal

3. Estado del arte

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) se define como un enfoque de mejora industrial centrado en identificar y establecer las políticas de mantenimiento y mejora operativa que gestionarán los riesgos de falla del equipo de manera más efectiva (Morales, Rodríguez, 2017). No es una estrategia de mantenimiento específica, sino un proceso de toma de decisiones basado en el análisis de confiabilidad para determinar una combinación optimizada de diferentes tipos de estrategias de mantenimiento (Niu, 2010). También, se observa que, si el RCM se aplica correctamente, puede reducir la cantidad de trabajo de mantenimiento de rutina en un 30-70% (Moubray, 2001). Los beneficios generalmente se remontan a dos grandes categorías: reducción de riesgos y ahorro de costos (Maestro, 2004).

(Nour, 1998) enfatizó la importancia del análisis cuidadoso de la confiabilidad de los componentes de la máquina para optimizar el programa de mantenimiento. (Hansson, 2003) confirmó que RCM ignora los problemas organizacionales y la importancia de manejar factores intangibles, lo que causa dificultades para introducir el método en la organización. En esta perspectiva, TPM por lo tanto puede soportar RCM por la forma de integración que maneja sus pilares. También vale la pena señalar que TPM y RCM satisfacen los requisitos de la Gestión de calidad total al proporcionar un mantenimiento eficaz y eficiente. Asimismo, un enfoque holístico, como TPM, puede ser beneficioso para la implementación y operación de RCM. (Fraser, 2011)

(Danielsson, 2013) al investigar la importancia de los proyectos de oficina para aumentar la eficiencia organizacional destaca dos perspectivas principales en la Oficina Lean: "Oficina Lean neo-taylorista", que aplica el enfoque de gestión científica presentado por Frederick Taylor. (Herkommer, Herkommer, 2006) manifiestan que el Lean Office es una filosofía que busca, en los procesos de información, resultados similares a Lean

Production. La aplicación de Lean Office, como en Lean Production, también tiene como objetivo reducir o eliminar el desperdicio del proceso. Puesto que, cuando el espacio del que se dispone es excesivo, las líneas de proceso pueden ocasionar que el trabajo no se mueva eficientemente (Lefcovich, 2005). Por ello, apoyarse en la metodología Kaizen supone numerosos beneficios como la ayuda a mejorar la calidad, acorta el tiempo de entrega, reduce el inventario, minimiza la utilización de recursos, simplifica la administración, abate costos y maximiza ganancias (Rico, 2005).

4. Aporte

4.1. Modelo Propuesto

En la tabla 2, se muestra el modelo general donde se divide la implementación en 2 fases. La primera combina el RCM para combatir los problemas de confiabilidad referentes a las máquinas y el Lean Office para ordenar y reducir desperdicios en los procesos de apoyo (Administrativos). La implementación en conjunto de estas herramientas se debe a que ni una interrumpe con el proceso del otro por los distintos enfoques que tienen; sin embargo, ayudan a erradicar el mismo problema. Finalmente, en la segunda fase se centrará en la capacitación y adiestramiento de las nuevas necesidades y programas desarrollados por las herramientas anteriores.

La motivación de estas metodologías parte de los distintos planes de mantenimiento que las empresas desarrollan con el fin de obtener certificaciones de calidad para posicionarse en el mercado; sin embargo, muchas de ellas no son desarrolladas y forman parte de un alusivo que se almacena. Esta metodología busca incentivar a las empresas a continuar con el plan de mantenimiento, aprovechando el alcance y mejorando de manera continua el plan actual.

Fase	Herramienta	Proceso
1	RCM	1 Análisis de Criticidad
		2 Análisis de Modo de Falla
		3 Análisis de Riesgo
		4 Diagrama de Decisión
		5 Tareas de Mantenimiento Propuestas
	LEAN OFFICE	1 Compromiso con el concepto Lean
		2 Elección del flujo de valor
		3 Aprender sobre proceso Lean
		4 Mapeo del estado actual
		5 Medidas de rendimiento ajustada
		6 Mapeo del Estado Futuro
		7 Creación de Planes Kaizen
		8 Implementación de los Planes Kaizen

Fase	Herramienta	Proceso
2	ADIESTRAMIENTO	1 Diagnóstico de necesidades y programas
		2 Desarrollo de planes y programas
		3 Ejecución de la Capacitación
		4 Evaluación de Resultados

Tabla 2 – Modelo General de RCM y Lean Office.

4.2.Detalle del Modelo

Dentro del modelo propuesto existen herramientas fundamentales para identificar las oportunidades de mejora y desarrollar nuestros indicadores. Los principales artefactos son:

- Lean Office:

VSM (Value Stream Mapping): El propósito de la utilización de esta herramienta es identificar los subprocesos del proceso principal a analizar. Así mismo, se puede calcular los tiempos generales, mínimos, máximos y promedios tanto de manera general como específica. El proceso general por analizar es el de adquisición de servicios y suministros referentes al área de Mantenimiento. El resultado de la utilización de esta herramienta es que se puede modificar el proceso a analizar según las necesidades de la empresa o de los implicados como también una visualización directa del tiempo que se desea reducir.

Planes Kaizen: El propósito de la utilización de esta herramienta es identificar las principales acciones que se deben tomar con respecto a las actividades con mayor riesgo de cuello de botella identificados en las medidas de rendimiento ajustado. Así mismo, se puede respaldar estas acciones con formatos necesarios (tabla 3).

Nº	Problema	Impacto	Acción
1	<i>Stocks de materiales no mapeados</i>	Retraso del proceso por demora en la búsqueda de materiales	Diseñar un registro de materiales para el almacén de Mantto. y un cuaderno de registro diario para utilizarlo como data.
2	<i>Aprobación del Presupuesto</i>	El personal no puede cerrar el pedido por falta de presupuesto	Contabilidad deberá mantener un registro de fondos asignados a las necesidades del área de Matto. bajo previa coordinación con Gerencia
3	<i>No encontrar el proveedor ideal</i>	Alto porcentaje de demora en el proceso	Diseñar ficha técnica con valores requeridos mínimos contra lo que ofrece el proveedor para que así el proveedor y el comprador tenga conocimiento de lo requerido y sea más fácil la tarea de descartar o seleccionar el indicado (filtro).
4	<i>No Seleccionar el proveedor ideal</i>	Riesgo de no elegir el proveedor ideal	Diseñar un cuadro comparativo de proveedores donde contenga un criterio de evaluación incluido y la elección sea rápida

Nº	Problema	Impacto	Acción
5	<i>Incumplimiento del periodo de entrega</i>	Alto porcentaje de demora en el proceso	Condicionamiento de clientes en la formalización de pedidos (Orden de compra).

Tabla 3 – Planes Kaizen del Modelo Propuesto

- RCM:

En este apartado se comienza con la clasificación de las maquinas que son críticas para el proceso de moldeo. Con ello, se debe identificar cuáles son sus posibles fallas y por consiguiente sus consecuencias dentro del proceso.

Con los modos de fallas determinados en la maquina como en el ejemplo de la fig. 2 (Huerta, 2018). Se procede a la selección de estrategias de mantenimiento que permitan un incremento en la disponibilidad.

Failure mode	Parameters	
	Shape	Scale
Hot oil	0.732	2912
Low pressure	0.614	3218

Figura 2 – Modo de falla de una maquina inyector

5. Validación

5.1. Arena Simulation Software

Las representaciones actuales de los sistemas con las distintas herramientas fueron desarrolladas en el programa de Arena Simulation Software para obtener una simulación y automatización de eventos discretos de lo planteado anteriormente. Se trabajó con un nivel de confianza de 95% y un error de 8,5% para calcular la cantidad de muestras necesarias en la implementación del diagrama futuro. Asimismo, se hizo uso de la herramienta Output Analyzer para identificar el número de corridas necesarias para obtener el resultado óptimo de la simulación. Para ello se tomó como parámetro los tiempos en cola, que representaban los intervalos de atención de servicio de mantenimiento, así como, el porcentaje de utilización del personal de mantenimiento. Los archivos de simulación se encuentran disponibles en el siguiente enlace: <https://drive.google.com/drive/folders/1U5kflk34fI9S-EnLdrckA833x9sNzWLM>

- Lean Office:

El análisis del proceso con la utilización del software en primera instancia recomendó que el empleado 5 y 3 deberían ser retirados del proceso debido al porcentaje de utilización que manejan (20 y 0,023%, respectivamente). Así mismo, el personal de mantenimiento tiene un nivel de utilización de 92% dentro de todo el proceso de adquisición. Con el nuevo modelo propuesto (Figura 3), se pudo reducir el tiempo de utilización en un 82% del Personal de Mantenimiento y el nivel de servicio subió a un 90%; es decir 9,6% más que el panorama actual.

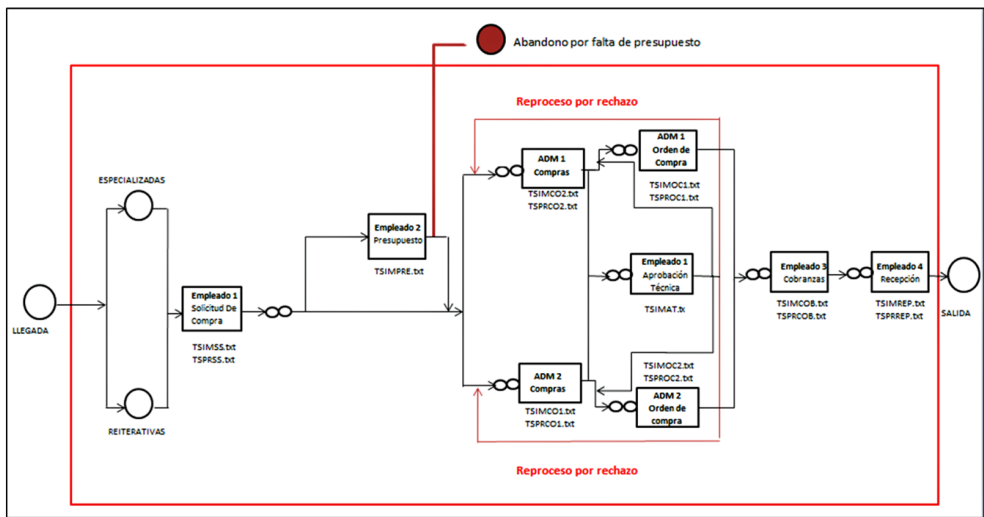


Figura 3 – Representación Gráfica del proceso Futuro según Lean Office

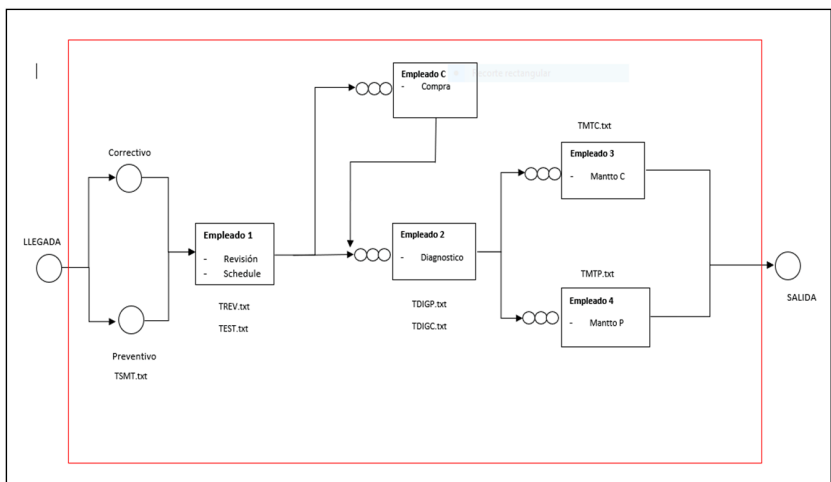


Figura 4 – Representación Gráfica del proceso Futuro según RCM

- RCM:

Con el nuevo modelo propuesto para mejorar la confiabilidad de las máquinas (Figura 4), se pudo obtener que para dar mantenimiento a estas maquinarias se requiere de 2 operarios fundamentalmente. Así mismo, el nivel de utilización del Mantenimiento Preventivo ascendió a 57,79% y el Correctivo se redujo a 45,21%.

6. Discusión

6.1. Escenario

- Económico: Se consideró dentro del costo el ahorro por disponibilidad y en el ingreso los datos de ahorro por mano de Obra, energía por mantenimiento y uso de materia prima. Tras un análisis de flujo de caja de 9.086,00 soles se concluye lo siguiente: El periodo de recuperación de la inversión es de 2 años. Así mismo, que el retorno de la inversión equivale a un 63% con un VAN de S/24.119,24 empleado una tasa de retorno de 11,78% de acuerdo con la situación del mercado actual.
- Ambiental: El impacto ambiental que trae consigo la inadecuada aplicación de un plan de Gestión de Mantenimiento tras el análisis de la matriz de Leopold es el entorno a olor tóxico. Esto es debido a que su contaminación es considerada rápida por la expansión que se maneja sobre el aire y sobre todo porque el polímero es un material que para ser transformado requiere de altos niveles de temperatura, los cuales desarrollan olores intolerantes si no se posee un EPP adecuado.

6.2. Análisis de Resultados

A continuación, se analizará los resultados respecto a las causas identificadas dentro del problema principal:

- Baja Disponibilidad de Repuestos y Personal: (a) Se redujo el tiempo en un 42,57% del proceso de compras; es decir, 9,04 horas con la ayuda de la herramienta VSM que nos permitió reformular el proceso y eliminar los procesos que generaban cuellos de botella o innecesarios. (b) Debido a la redistribución de las actividades en área de mantenimiento, la cantidad de solicitudes del tipo reiterativo se vio reducido a un 35%. Ello, impactó positivamente en la disponibilidad del personal de mantenimiento, que aumentó hasta un 83,07%, lo que equivale a 11,45 horas en el tipo de solicitudes atendidas anteriormente. (c) Se aumentó la actividad de pronóstico de suministros dentro del proceso de compras para las de tipo reiterativas, donde se concluye que su eficiencia aumentó en 10% con respecto al rechazo por falta de presupuesto.
- Porcentaje de Materia Prima Reprocesada: (a) Según el cronograma de implementación, el personal operativo como el de mantenimiento cumplirán al 100% las capacitaciones programadas con un nivel de satisfacción esperado de 8,9 sobre 10 para que el problema de parametrización no afecte la Materia Prima Utilizada. (b) Tras reducir un 44,8% de paradas no planificadas, se estimó que los kilogramos de mermas y fallas recuperadas es de 244,3 Kg; es decir que la MP reutilizada se reduciría a 4,3%.

- Deterioro de la Máquina Inyectora: Tras la implementación del RCM, las paradas no planeadas, relacionadas al mantenimiento correctivo, se vieron reducidas a un 45,21%. Esto debido a que se priorizaron las actividades de mantenimiento preventivo que subieron de un 10% a un 40%.

6.3. Trabajos Futuros

Tras los resultados obtenidos y los valores que respaldan el proyecto, se determinó los factores y contextos que deberán ser evaluados para mejorar la implementación. Estos acontecimientos se definieron a partir de las oportunidades que se obtiene manejar un plan de mantenimiento correcto. (a) Implementación del Mantenimiento Predictivo para máquinas de moldeo por inyección basado en la condición, el cual es un tipo de gestión que plantea soluciones de reparación o reemplazo sobre la condición actual o futura de la maquinaria. (b) Desarrollo de un sistema de análisis de riesgo en el área de Mantenimiento. El Objetivo es identificar los distintos riesgos futuros en el transcurso de la implementación y posterior adaptación de la empresa. (c) Implementación de un software de gestión de mantenimiento computarizado.

7. Conclusiones

En el presente trabajo se diseñaron estrategias para guiar la buena gestión de un plan de mantenimiento en el proceso de moldeo por inyección. El análisis permitió enfocarnos tanto en los procesos administrativos y operativos fundamentales para el área de Mantenimiento. Como resultados de la aplicación de la propuesta innovadora (Lean Office y RCM) se obtuvo lo siguiente: (1) El Lean Office tiene como objetivo no sólo la reducción de tiempo, sino la reestructuración o modificación de procesos. (2) Se demostró que la implementación de estas técnicas no solo están enfocadas en la mejora de la implementación del plan de mantenimiento, sino que también puede ayudar a mejorar la producción, teniendo un impacto en la reducción de costos. (3) La buena gestión del plan de mantenimiento en el proceso por inyección, es posible mitigar los problemas que causan las fallas en la producción, así, evitar las pérdidas de materiales, retrasos en las entregas y optimizar el flujo de información entre las áreas funcionales

Finalmente, el desarrollo de este proyecto genera un retorno de la inversión de S/14.810,18, reduce la pérdida de Materia Prima en un 1,73% mensual y disminuye la pérdida de producción por inoperatividad aumentando la producción en 165 unidades/mes aprox. calculado del producto con mayor demanda (Asiento Elongado).

Referencias

- Agencia Peruana de Noticias. (2019). Sector formal de mantenimiento en el Perú mueve cerca de US\$60M anuales. Retrieved from: <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/sector-formal-de-mantenimiento-en-el-peru-mueve-cerca-de-us60m-anuales>
- Almada-Lobo, F. (2016). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21. https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003

- Danielsson, C. B. (2013). An explorative review of the Lean office concept. *Journal of Corporate Real Estate*.
- Fraser, K., Hvolby, H. H., & Watanabe, C. (2011). A review of the three most popular maintenance systems: how well is the energy sector represented?. *International Journal of Global Energy Issues*, 35(2-4), 287-309
- Hansson, J., Backlund, F., & Lycke, L. (2003). Managing commitment: increasing the odds for successful implementation of TQM, TPM or RCM. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(9), 993-1008. <https://doi.org/10.1108/02656710310500815>
- Herkommer, J., & Herkommer, O. (2006). Lean office-system. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 101(6), 378-381.
- Huerta, M. A., González-González, D. S., Cantú-Sifuentes, M., & Praga-Alejo, R. J. (2018). RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1402-y>
- Maestro, E. C. (2004). La gestión de la calidad en las organizaciones de educación superior. Aportación del enfoque de la Organización Internacional de Normalización (ISO). *Revista complutense de educación*, 15(2), 647-686.
- Morales Méndez, J. D., & Rodriguez, R. S. (2017). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1-4), 1013-1026. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0052-4>
- Moubray, J. (2001). Reliability-centered maintenance. Industrial Press Inc.
- Niu, G., Yang, B.-S., & Pecht, M. (2010). Development of an optimized condition-based maintenance system by data fusion and reliability-centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(7), 786-796. <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.02.016>
- Nour, G., Beaudoin, H., Ouellet, P., Rochette, R., & Lambert, S. (1998). A reliability based maintenance policy; a case study. *Computers & industrial engineering*, 35(3-4), 591-594.
- Lefcovich, M. (2005). Kaizen. La mejora continua. Monografías. com. Recuperado el día, 20.
- Rico Tavera, G. (2005). Masaaki Imai: Lecciones de mejora continua. Manufacturaweb (Grupo Editorial Expansión).
- Salazar Nishi, J. (2016). Análisis del Sector del Plástico en el Perú. Retrieved from: <http://camara-alemana.org.pe/downloads/sni-presentacion.pdf>
- Vega, M. (2020). El viejo sector del plástico se resiste a morir. Retrieved from: https://elpais.com/economia/2018/07/06/actualidad/1530889094_699565.html

Selección de una metodología para evaluar y mejorar la calidad de datos utilizando AHP y TOPSIS

Mauricio Garcés Ordóñez¹, Mayda Patricia González Zabala²

mauriciogarceso@unimagdalena.edu.co; mpgonzalez@unimagdalena.edu.co

¹ Universidad del Magdalena, Calle 32 No 22-08, 470004, Santa Marta - Magdalena, Colombia.

² Universidad del Magdalena, Calle 32 No 22-08, 470004, Santa Marta - Magdalena, Colombia.

Pages: 52–64

Resumen: Este artículo presenta una investigación para seleccionar la mejor metodología para evaluar y mejorar la calidad de los datos. El proceso se llevó a cabo en dos etapas, la primera fue obtener los pesos de criterios a través del método AHP, basado en el juicio de dos expertos en calidad de datos para el diseño de la estructura jerárquica compuesta por un objetivo, cinco dimensiones de calidad de datos y siete alternativas que corresponden a marcos para evaluar y mejorar la calidad de los datos. La segunda parte consistió en evaluar las alternativas de decisión con los criterios para aplicar el método TOPSIS con los pesos encontrados previamente en AHP y establecer una clasificación de las mejores metodologías de mayor a menor. Como resultado, se encontró que el mejor marco de buenas prácticas en calidad de datos es Gestión Total de la Calidad de la Información (TIQM).

Palabras-clave: AHP; Calidad de datos; Toma de decisiones; Marcos de Calidad de Datos; TOPSIS.

Selection of a methodology to evaluate and improve data quality using AHP and TOPSIS

Abstract: This paper presents a research aimed at selecting the best methodology to evaluate and improve data quality. The process was carried out in two stages, the first was to obtain the criteria weights through the AHP method, based on the judgment of two experts in data quality for the design of the hierarchical structure composed of an objective, five dimensions of data quality and seven alternatives that correspond to frameworks for evaluate and improve data quality. The second part consisted of evaluating the decision alternatives with the criteria to apply the TOPSIS method with the weights previously found in AHP and establish a classification from highest to lowest of the best methodologies. As a result, it was found that the best framework of good practices in data quality is Total Information Quality Management (TIQM).

Keywords: AHP; Data quality; Decision making; Data Quality Frameworks; TOPSIS.

1. Introducción

En aras de ser competitivas, dar continuidad al negocio y cumplir con las metas de productividad, las organizaciones han implementado estrategias basadas en datos (Castro, 2016). La calidad de los datos es un elemento que imparte confianza en la inteligencia empresarial, habilita formas de controlar la evolución, crecimiento y expansión de nuevos mercados, lo que ha permitido que las empresas puedan caracterizarlos como un insumo clave para la toma de decisiones (Kathrin, 2011).

La calidad de datos es un factor diferenciador en la gestión empresarial porque asegura la integración de procesos de negocios, contribuye a la definición de políticas y estándares (Storey et al., 2012) que ayudan a controlar y garantizar la calidad en las diferentes fuentes de información que tenga la empresa para poder adaptarlos a las necesidades y les permita la elaboración de análisis de impactos que conviertan las decisiones en acciones de valor frente a los retos definidos (Redman, 2008). Por otra parte, la calidad de datos se ha convertido en un instrumento fundamental en el desarrollo de software o Sistemas de Información (SI) que se aplica desde la etapa de la definición de requisitos hasta la etapa de pruebas e implementación (Caro et al., 2013), específicamente en el diseño de modelos de datos ha tenido gran acogida, por la definición de estructuras y significado de datos, aseguramiento de la compatibilidad, reducción de definiciones redundantes e impulsa la limpieza y armonización de los datos (Wang et al., 1993), (Ballou & Pazer, 1985, p.).

Existen metodologías para evaluar y mejorar la calidad de los datos que asocian los atributos que desean priorizar y controlar con el fin de tener información acorde a las necesidades (Batini et al., 2009). Así, el valor y nivel de confianza que aseguren el cumplimiento de estándares, permitiéndoles ser más eficaces y eficientes, hacen que la calidad sea un factor de toma de decisiones (Caro et al., 2013), que puede apoyarse en herramientas de análisis multicriterios, las cuales estudian los métodos de solución de problema con más de un criterio y alternativas, permitiendo identificar las partes del sistema, reconociendo el peso, identificando vínculos y proponiendo una solución racional (Department for Communities and Local Government, 2009).

La combinación de técnicas multicriterios pueden ser usadas durante el proceso de planificación como una herramienta para facilitar la elección de alternativas que permitan subsanar la mala calidad de los datos (Harris, 2012). Por lo que es necesario tener una metodología para la selección correcta de la mejor estrategia para evaluar y mejorar la calidad de datos, que permita implementar un marco de buenas prácticas en calidad de datos.

En ese sentido, se propone determinar las alternativas ideales con técnicas de decisión multicriterios y ofrecer una herramienta a los gerentes de tecnologías que se encuentren en el proceso de selección de algún marco de buenas prácticas de calidad de datos.

El presente documento ha sido organizado como sigue: un primer apartado en el cual se presenta la introducción a la temática a abordar, seguido de unas bases teóricas y el estado del arte. Posteriormente, se presenta la metodología utilizada para el modelo propuesto para resolver el problema de toma de decisión, y el análisis de resultados. Finalmente, las conclusiones y referencias bibliográficas.

2. Fundamentos teóricos y estado del arte

La utilización de métodos multicriterios en el proceso de toma de decisiones ha permitido explorar funcionalidades en los factores de validación que brindan respuestas coherentes, ayudando a mejorar procesos y resolver problemas de decisión (Berumen & Redondo, 2007). Uno de los métodos más utilizado es el método AHP - Proceso Jerárquico Analítico, el cual es una técnica de jerarquías de la escuela norteamericana basadas en la teoría de utilidad que modela los problemas en forma de estructura utilizando criterios cualitativos y cuantitativos (Saaty, 2008).

En AHP, se descompone el problema o el objetivo de decisión construyendo la jerarquía de decisión desde la parte superior con la meta que se busca alcanzar, luego los objetivos desde una perspectiva amplia, para seguir con los niveles intermedios, hasta los niveles más bajos, comúnmente son el conjunto de alternativas (Saaty, 2008).

Una vez construida la jerarquía, se desarrolla el conjunto de matrices de comparaciones pareadas en donde cada elemento en un nivel superior se usa para comparar los elementos que se encuentran en el nivel inmediatamente inferior con respecto a él e indicar cuantas veces es más importante un elemento sobre otro. Seguido, se utilizan las prioridades obtenidas para pesar las prioridades en el nivel inmediatamente inferior, hasta que se obtengan las prioridades finales de las alternativas en el nivel más bajo de la jerarquización (Saaty, 2008).

Los métodos AHP se han aplicado, entre otras, en juicios de expertos, gestión del riesgo y criterios de sustentabilidad hidroeléctrica para disminuir la incertidumbre de la decisión (Hernández Santibáñez et al., 2017) y ser objeto de combinación con otros métodos de clasificación pertenecientes a la escuela europea, de los cuales se distinguen los métodos PROMETHEE (Bogdanovic et al., 2012), ELECTRE y la Técnica para Orden de Preferencias por Similitud con Soluciones Ideales – TOPSIS (Gómez et al., 2018).

TOPSIS, es un método analítico empleado en procesos de selección de alternativas en la toma de decisiones que se enfoca en buscar la Distancia Euclidiana (DE) más corta a una alternativa considerada ideal y lo más lejana a otra alternativa considerada anti-ideal (Gómez et al., 2018).

En el método TOPSIS se construye la matriz de decisión, partiendo de las alternativas que se evaluarán y los criterios seleccionados, los cuales tienen un peso y una valoración asociada que determinan su importancia. Posteriormente, se normaliza la matriz mediante la expresión (1). Una vez normalizada la matriz, se le aplica la ecuación (2) para obtener la matriz de decisión normalizada ponderada. Donde W_j es el peso del j -ésimocriterio, tal que $\sum W_j$ puede ser igual a 1, se verifica la igualdad (Y. et al., 1994).

$$v_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij})^2}}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (1)$$

De la matriz resultante, se obtiene la solución ideal positiva y negativa que dependerá del objetivo final, si busca maximizar, toma como solución ideal positiva el mayor valor de

cada alternativa y el menor para cuando sea minimizar. Luego, se calculan las distancias Euclidianas de cada alternativa con respecto a las soluciones ideales positivas y negativas a partir de la fórmula descrita en la expresión (3) y al resultado se le determina la proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa, mediante la ecuación (4) (Y. et al., 1994).

$$p_{ij} = W_j * v_{ij}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$d_i^{\pm} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - A_j^{\pm})^2} \quad (3)$$

$$R_i = \frac{d_i^{-}}{d_i^{+} + d_i^{-}} \quad (4)$$

Una vez calculada la proximidad relativa se organiza en una matriz de n alternativas y un resultado de proximidad relativa organizadas de mayor a menor. Los mayores valores serán las opciones de mayor preferencia (Y. et al., 1994).

3. Metodología

Teniendo en cuenta que el AHP es una herramienta para la toma de decisiones que modela el problema con una jerarquía que incluye objetivos, criterios, sub-criterios y alternativas; y mide el nivel de inconsistencia de los juicios de los decisores. En tanto que TOPSIS permite la búsqueda de las mejores y peores alternativas por criterio, se diseñó una metodología que permitiera tomar las fortalezas de estos métodos para seleccionar una metodología para mejorar la calidad de datos.

La primera etapa fue la definición de los criterios de calidad y la selección de las alternativas a considerar. Los aspectos que se tuvieron en cuenta para mejorar la calidad de los datos son: 1) disponibilidad, la cual va relacionada con la facilidad de acceso, publicación, oportunidad de entrega y actualización de los datos, 2) usabilidad porque permite darle credibilidad a los datos por la verificación de las fuentes generadoras, 3) confiabilidad que permite entregar datos precisos, íntegros y consistentes, 4) pertinencia, para que proporcione datos coherentes a la consulta, y 5) calidad de presentación que va relacionado con el contenido y el formato para que sean datos claros y comprensibles (PowerData, 2018).

Las alternativas (ver Tabla 1) fueron seleccionadas a partir de una comparación de trece metodologías realizada en (Batini et al., 2009) en la que se evaluaron las fases y etapas, tipos de estrategias y técnicas, comparadas también con las dimensiones de la calidad, métricas, costos y tipo de datos bajo la perspectiva de la organización, procesos y servicios, en donde se utilizó el método AHP para obtener los pesos de los criterios y hacer una preselección de alternativas de calidad de datos.

Nombre de Metodologías	Fuente
Total Data Quality Management (TDQM)	(Wang et al., 1993)
The Datawarehouse Quality Methodology (DWQ)	(Jarke & Vassiliou, 1999)
Total Information Quality Management (TIQM)	(English, 2009)
ISTAT Methodology (ISTAT)	(Batini & Scannapieco, 2006)
Cost Effect of Low Data Quality Methodology (COLDQ)	(Loshin, 2014)
Data Quality in Cooperative Information Systems (DaQuinCIS)	(Scannapieco et al., 2004)
Comprehensive Methodology for Data Quality Management (CDQ)	(Batini et al., 2007)

Tabla 1 – Lista de alternativas

Una vez definidos los criterios y las alternativas se procedió a realizar la estructura jerárquica sugerida por el método AHP (ver Figura 1). Como el método AHP sugiere el desarrollo de comparaciones relativas que van desde la comparación de los criterios definidos con el objetivo que persigue el problema de toma de decisión hasta las comparaciones entre cada una de las alternativas con cada uno de los criterios, genera que las encuestas sean demasiado largas para los participantes debido al número de combinaciones de cada uno de los elementos que componen la estructura jerárquica. El proceso también depende del número de personas expertas que participen en la selección de la mejor decisión que permita cumplir el objetivo. Para el desarrollo de esta investigación se seleccionaron dos expertos en gestión de la calidad de datos (*Data Quality Management*), se les explicó la mecánica del ejercicio y sus respuestas fueron registradas en la herramienta informática acorde a la escala de Saaty en (Saaty, 2008), la cual se presenta en la Tabla 2. Las respuestas obtenidas se organizaron en matrices de combinaciones pareadas entre criterios y alternativas entre los criterios como sugiere el método AHP. También, se realizó la normalización y el cálculo de la importancia y el peso relativo.

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo.
2	Débil o leve	
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra.
4	Más moderado	
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra.

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
6	Más fuerte	
7	Muy fuerte o importancia demostrada	Una actividad se favorece muy fuertemente sobre otra; Su dominio demostrado en la práctica.
8	Muy, muy fuerte	
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación.

Tabla 2 – Escala de valoración de Saaty

Para el desarrollo del modelo AHP, se utilizó el software Expert Choice V11 (Expert Choice, 2004), el cual permitió determinar los pesos de los criterios que serán tomados como entrada en la aplicación del método TOPSIS. Seguidamente, con la técnica del TOPSIS, se realizó la normalización de la matriz de decisión, se ponderó y se buscaron las soluciones ideales positivas y negativas, luego se calcularon las distancias y se realizó el cálculo de proximidad. Luego, se ordenaron las preferencias y se tomó la decisión.

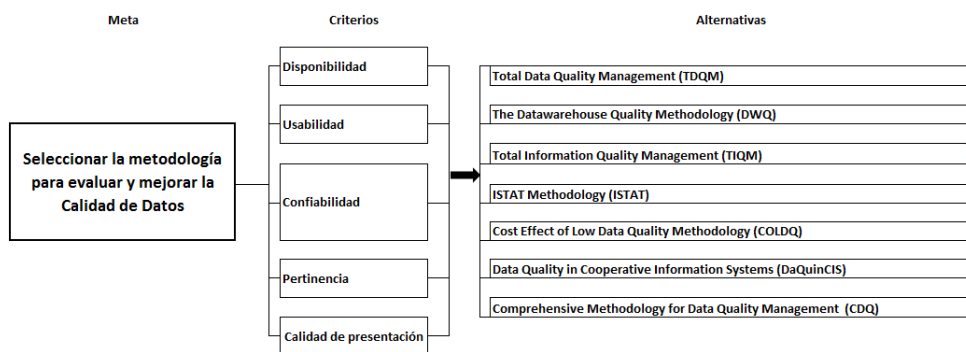


Figura 1 – Estructura jerárquica del modelo planteado

4. Análisis y resultados

En la aplicación Expert Choice, se configuraron los dos expertos, se creó el objetivo, los criterios y las alternativas. Posteriormente, se diligenciaron las respuestas de los participantes para poder determinar el porcentaje de inconsistencia. En la Tabla 3 se presentan las respuestas de los dos expertos para cada una de las comparaciones relativas entre cada uno de los elementos que componen la estructura jerárquica que modela el problema planteado.

Comparación Relativa

Opinión Experto 1

Criterios con respecto al objetivo

Compare the relative importance with respect to: Goal: Seleccionar la metodología para evaluar y mejorar la calidad de datos

	Disponibilidad	Usabilidad	Confiabilidad	Pertinencia	Calidad de Presentación
Disponibilidad		3.0	3.0	3.0	1.0
Usabilidad			5.0	3.0	3.0
Confiabilidad				5.0	3.0
Pertinencia					5.0
Calidad de Presentación					
Incon: 0.09					

Alternativas con respecto al criterio: Disponibilidad

Compare the relative importance with respect to: Disponibilidad

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		3.0	1.0	1.0	3.0	5.0	3.0
DWQ			3.0	3.0	3.0	3.0	1.0
TIQM				3.0	5.0	3.0	3.0
ISTAT					1.0	3.0	3.0
COLDQ						3.0	1.0
DAQUNCS							3.0
CDQ							
Incon: 0.10							

Alternativas con respecto al criterio: Usabilidad

Compare the relative importance with respect to: Usabilidad

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		5.0	3.0	5.0	1.0	3.0	3.0
DWQ			5.0	3.0	3.0	3.0	1.0
TIQM				1.0	3.0	3.0	5.0
ISTAT					3.0	3.0	3.0
COLDQ						3.0	3.0
DAQUNCS							3.0
CDQ							
Incon: 0.13							

Alternativas con respecto al criterio: Confiabilidad

Compare the relative preference with respect to: Confiabilidad

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		5.0	1.0	1.0	3.0	1.0	3.0
DWQ			5.0	1.0	3.0	3.0	1.0
TIQM				5.0	3.0	3.0	3.0
ISTAT					3.0	5.0	3.0
COLDQ						3.0	1.0
DAQUNCS							3.0
CDQ							
Incon: 0.24							

Alternativas con respecto al criterio: Pertinencia

Compare the relative preference with respect to: Pertinencia

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		3.0	1.0	5.0	3.0	3.0	3.0
DWQ			5.0	3.0	3.0	1.0	3.0
TIQM				3.0	5.0	5.0	5.0
ISTAT					5.0	1.0	3.0
COLDQ						3.0	1.0
DAQUNCS							3.0
CDQ							
Incon: 0.11							

Alternativas con respecto al criterio: Calidad de Presentación

Compare the relative preference with respect to: Calidad de Presentación

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		1.0	3.0	1.0	1.0	3.0	3.0
DWQ			3.0	3.0	3.0	1.0	1.0
TIQM				3.0	5.0	5.0	3.0
ISTAT					3.0	1.0	3.0
COLDQ						3.0	1.0
DAQUNCS							3.0
CDQ							
Incon: 0.07							

Opinión Experto 2

Compare the relative importance with respect to: Goal: Seleccionar la metodología para evaluar y mejorar la calidad de datos

	Disponibilidad	Usabilidad	Confiabilidad	Pertinencia	Calidad de Presentación
Disponibilidad		3.0	3.0	1.0	3.0
Usabilidad			3.0	3.0	1.0
Confiabilidad				3.0	5.0
Pertinencia					3.0
Calidad de Presentación					
Incon: 0.05					

Compare the relative preference with respect to: Disponibilidad

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		3.0	1.0	1.0	3.0	5.0	1.0
DWQ			3.0	3.0	3.0	3.0	1.0
TIQM				1.0	3.0	3.0	1.0
DWQ				1.0	3.0	3.0	1.0
ISTAT					5.0	1.0	3.0
COLDQ						1.0	5.0
DAQUNCS							3.0
CDQ							
Incon: 0.20							

Compare the relative preference with respect to: Usabilidad

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		3.0	1.0	5.0	1.0	3.0	1.0
DWQ			3.0	1.0	3.0	3.0	1.0
TIQM				5.0	2.0	3.0	1.0
ISTAT					3.0	3.0	5.0
COLDQ						3.0	1.0
DAQUNCS							5.0
CDQ							
Incon: 0.06							

Compare the relative preference with respect to: Confiabilidad

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		1.0	1.0	3.0	1.0	1.0	1.0
DWQ			3.0	1.0	1.0	1.0	1.0
TIQM				1.0	1.0	1.0	1.0
ISTAT					1.0	1.0	1.0
COLDQ						1.0	1.0
DAQUNCS							1.0
CDQ							
Incon: 0.03							

Compare the relative preference with respect to: Pertinencia

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		5.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0
DWQ			3.0	3.0	1.0	1.0	1.0
TIQM				3.0	1.0	3.0	1.0
ISTAT					3.0	1.0	3.0
COLDQ						3.0	1.0
DAQUNCS							5.0
CDQ							
Incon: 0.13							

Compare the relative preference with respect to: Calidad de Presentación

	TDQM	DWQ	TIQM	ISTAT	COLDQ	DAQUNCS	CDQ
TDQM		3.0	3.0	5.0	1.0	3.0	3.0
DWQ			3.0	3.0	3.0	1.0	1.0
TIQM				3.0	1.0	5.0	3.0
ISTAT					5.0	1.0	3.0
COLDQ						3.0	1.0
DAQUNCS							3.0
CDQ							
Incon: 0.10							

Tabla 3 – Escala de valoración de Saaty

En la Tabla 4 se presenta el nivel de inconsistencia obtenido de la Comparación Relativa (CR) del objetivo con los criterios y cada uno de los criterios con las alternativas. Se aprecia que el 83% de las respuestas tiene una inconsistencia menor o igual a 13%, que equivalen a 5 de los 6 datos de los resultados. Mientras que en el otro 17% fueron superiores a 20%, que comprende “Confiabilidad” para el primer experto y “Disponibilidad” para el segundo. El 58% de las inconsistencias fue menor o igual a 10%. Sin embargo, las comparaciones que excedieron el 10% no fueron eliminadas del modelo.

En la comparación relativa del objetivo con los criterios, el segundo experto tiene una inconsistencia del 5%, menor que la del primer experto que obtuvo un 9%. Las menores

inconsistencias de las comparaciones relativas de los criterios con las alternativas para el primer experto son la “Calidad de Presentación” y “Disponibilidad”. Para el segundo experto es la “Confiabilidad” y “Usabilidad”.

Comparación Relativa	Objetivo	Disponibilidad	Usabilidad	Confiabilidad	Pertinencia	Calidad de Presentación
Experto 1	0.09	0.10	0.13	0.24	0.11	0.07
Experto 2	0.05	0.20	0.06	0.03	0.13	0.10

Tabla 4 – Inconsistencia de las comparaciones relativas por expertos

Una vez procesado el modelo, los pesos locales y globales obtenidos de los criterios para el primer experto son: 48.1% “Confiabilidad”, 22.3% “Pertinencia”, 11.9% para “Disponibilidad” y “Calidad de Presentación” y el 5.7% “Usabilidad” (ver imagen 1 de la Figura 2). Mientras que para el segundo experto fueron: 49.1% “Confiabilidad”, 23.4% “Usabilidad”, 10.9% para “Disponibilidad” y “Pertinencia” y el 5.9% “Calidad de Presentación” (ver imagen 2 de Figura 2).

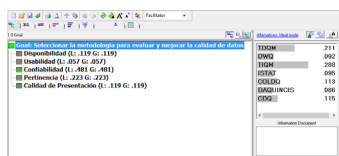


Imagen 1 - Pesos locales y globales para el primer experto

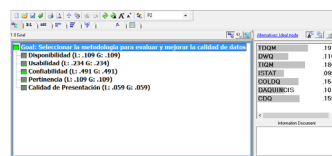


Imagen 2 - Pesos locales y globales para el segundo experto

Figura 2 – Resultados de la consulta a expertos – Pesos locales y globales

Se evidenció que ambos expertos consideraron la “Confiabilidad” con más peso y las metodologías que se destacaron fueron TDQM y TIQM. Al combinar los juicios, se obtuvo una inconsistencia de 0.004 y los criterios con más peso fueron: “Confiabilidad” (50.4%), y “Pertinencia” (16.6%). En la Figura 3 se aprecia la gráfica porcentual de criterios y alternativas.

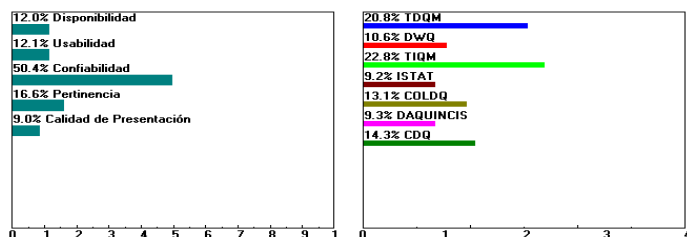


Figura 3 – Gráfica porcentual de criterios y alternativas

Obtenidos estos resultados a partir de las opiniones de los expertos consultados, si hubiese que tomar una decisión, se debería seleccionar la metodología TIQM con 22.8%, seguido

de TDQM con 20.8% y CDQ con 14.3%. En la gráfica de sensibilidad (Ver Figura 4), se muestra el resultado base bajo el cual se pueden cambiar las condiciones de los criterios para definir dicha metodología.

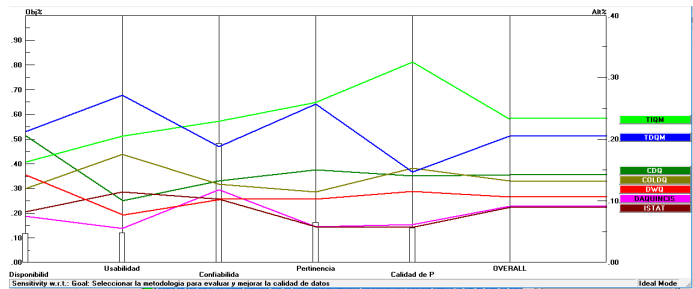


Figura 4 – Gráfica de sensibilidad

Obtenido los pesos de los criterios usando el método AHP, se diligenció la matriz de decisión del método TOPSIS a través del portal web (<https://decision-radar.com>), que la componen las alternativas (filas) y los criterios (columnas) con los pesos (ver Tabla 5). En la Tabla 6, se encuentra la matriz normalizada multiplicada por los pesos asignados a los criterios. Con ella, se selecciona el vector de las mejores (resaltado en negrilla) y peores (sombreado en gris) respuestas según criterio.

Peso →	0.120	0.121	0.504	0.166	0.90
	Disponibilidad	Usabilidad	Confiabilidad	Pertinencia	Calidad de Presentación
TDQM	5	3	7	4	3
DWQ	3	3	5	5	2
TIQM	7	5	7	2	5
ISTAT	4	4	5	5	1
COLDQ	4	3	5	5	3
DAQUINCIS	3	3	5	5	4
CDQ	3	5	5	5	3

Tabla 5 – Matriz de decisión para el método TOPSIS

	Disponibilidad	Usabilidad	Confiabilidad	Pertinencia	Calidad de Presentación
TDQM	0.052	0.036	0.236	0.055	0.032
DWQ	0.031	0.036	0.169	0.069	0.021
TIQM	0.073	0.060	0.236	0.028	0.053
ISTAT	0.042	0.048	0.169	0.069	0.011
COLDQ	0.042	0.036	0.169	0.069	0.032

	Disponibilidad	Usabilidad	Confiabilidad	Pertinencia	Calidad de Presentación
DAQUINCIS	0.031	0.036	0.169	0.069	0.042
CDQ	0.031	0.060	0.169	0.069	0.032

Tabla 6 – Matriz de decisión ponderada normalizada

Al procesar la matriz de decisión ponderada normalizada, se obtuvo la matriz de distancias calculando las DE en cada alternativa con respecto a las soluciones ideales positivas obteniendo como resultado el vector de las distancias de las mejores elecciones con relación a las alternativas, que para este caso representan las metodologías de calidad de datos. Los resultados de las mejores metodologías organizadas de mayor a menor son: 1) TIQM con 69.21%, 2) TDQM con 66%, 3) CDQ con 38.9%, 4) DAQUINCIS con 38.4%, 5) COLDQ con 37%, 6) ISTAT con 33.9%, y 7) DWQ con 32.5%.

Como el objetivo planteado es “seleccionar la metodología para evaluar y mejorar la calidad de datos”, se espera que se tenga en cuenta los criterios definidos y que su DE sea la más corta. Atendiendo lo que establece el método TOPSIS, la solución ideal positiva con los mayores valores en los resultados de proximidad relativa corresponderá a las opciones de mayor preferencia. En tal sentido, la mejor decisión según las opiniones de los expertos en gestión de la calidad de datos consultados para el problema de decisión planteado correspondió a la metodología TIQM con 69.21%.

De esta selección, se resalta que TIQM en (English, 2009) permite a través de sus procesos obtener un cambio cultural en el manejo y uso de la información propiciando el mejoramiento continuo de la calidad de datos. Esta metodología está compuesta por los siguientes procesos: 1) “Evaluar la información del producto y la calidad de la arquitectura” en la que se identifica la información del producto y de los interesados, se definen métricas de medición y técnicas de evaluación, 2) “Evaluar la calidad de la información” en el que se especifica cómo se va a medir la calidad, identifica las características de calidad que determinaran un estado de la calidad, 3) “Medir costos y riesgos de la mala calidad de la información” en el que se identifican las métricas de desempeño del negocio, se calculan los costos de producción de información y se estiman los costos de la mala calidad de los datos relacionando el costo/beneficio, 4) “Mejorar la calidad del procesamiento de información” mediante la definición de proyectos de transformación y mejoramiento de procesos de información en el que se aplica el PHVA, 5) “Datos correctos y control de redundancia de datos” en el que se define pautas para la gestión de proyectos para corregir, transformar y controlar los movimientos de datos, y 6) “Establecer el entorno de calidad de la información” el cual define aspectos propuestos por Deming en (Lozano Cortijo, 1998) para reforzar la cultura empresarial y obtener un buen manejo de los datos, creando el hábito de la mejora continua.

5. Conclusiones

La calidad de datos es considerada como el grado de utilidad y cumplimiento de necesidades y expectativas empresariales, la cual facilita a las organizaciones orientar

sus decisiones de manera asertivas para que ayuden al cumplimiento de su estrategia. Además, se aprecia que en el contexto de la industria de software la calidad de datos se ha considerado como un factor fundamental para tener en cuenta en los procesos de desarrollo de aplicaciones, en especial en lo relacionado con el modelado de datos con el fin de garantizar la calidad de datos que manejan, y para evitar problemas transaccionales y de integración con otras fuentes.

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) segrega el problema en niveles, el centro decisor puede centrarse en pequeños conjuntos de decisiones. Su aplicación está muy extendida y se puede utilizar para toma de decisiones individuales, pero está más extendido su uso para toma de decisiones en grupo. Mientras que en la Técnica para Ordenar Preferencias por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS), la alternativa elegida debe de ser tan cercana como sea posible, a la solución ideal y tan alejada como sea posible, de la solución negativa ideal. La mejor alternativa tendrá la distancia más corta a la solución ideal positiva y la mayor distancia a la solución ideal negativa. Ambos métodos utilizan criterios que pueden ser cuantitativos y cualitativos según el contexto del problema que quiera resolver, por lo cual se convierten en herramientas que las organizaciones pueden usar para apoyar sus procesos de toma de decisiones.

Específicamente, en AHP al combinar las opiniones de los expertos la inconsistencia es de 0.04 a pesar de tener casos con inconsistencia superior a 10% de manera individual. El criterio con mayor peso porcentual es “Confiabilidad” con 50.4%, éste avalúa la exactitud, consistencia, integridad y completitud de los datos. Seguido, se encuentra la “Pertinencia” que corresponde a la conveniencia de los datos con un 16.6%, 12.1% para la “Usabilidad”, “Disponibilidad” con 12% y por último “Calidad de Presentación” con un 9%. Los pesos obtenidos sirvieron de entrada para desarrollar el método TOPSIS con el fin de ordenar las preferencias de selección. Entre los resultados obtenidos del método TOPSIS se encontró que en las soluciones ideales que maximizan el beneficio, la metodología TIQM obtuvo cuatro valores de referencia para el cálculo de las Distancias Euclidianas, los criterios a los cuales corresponden estos valores son: “Disponibilidad” con 0.073, “Usabilidad” con 0.060, 0.236 para “Confiabilidad” y “Calidad de Presentación” con un 0.053. El valor de referencia para el cálculo de las distancias para el criterio “Pertinencia” se seleccionó de la metodología ISTAT. Por otra parte, la distancia entre las opciones y el vector de selección organizado de mayor a menor es: 1) TIQM con 69.21%, 2) TDQM con 66%, 3) CDQ con 38.9%, 4) DAQUINCIS con 38.4%, 5) COLDQ con 37%, 6) ISTAT con 33.9%, y 7) DWQ con 32.5%. Por consiguiente, la mejor metodología para evaluar y mejorar la calidad de los datos según las opiniones de los expertos consultados es TIQM.

TIQM es una metodología que podrá orientar a las organizaciones a mejorar la calidad del proceso de información resolviendo problemas relacionados con: 1) la definición de la calidad de la información, modelos y diseños de base datos, 2) calidad del contenido de la información, 3) calidad de presentación de la información, y 4) calidad en la comunicación empresarial.

Finalmente, se espera que este documento sea un aporte a los administradores de las Tecnologías de la Información para que puedan tener una base clara sobre la selección de metodologías para evaluar y mejorar la calidad de datos, teniendo en cuenta los criterios de calidad analizados.

Referencias

- Ballou, D. P., & Pazer, H. L. (1985). Modeling Data and Process Quality in Multi-Input, Multi-Output Information Systems. *Management Science*, 31(2), 150–162. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.2.150>
- Batini, C., Cabitza, F., Cappiello, C., Francalanci, C., & di Milano, P. (2007). A Comprehensive Data Quality Methodology for Web and Structured Data. *2006 1st International Conference on Digital Information Management*, 448–456. <https://doi.org/10.1109/ICDIM.2007.369236>
- Batini, C., Cappiello, C., Francalanci, C., & Maurino, A. (2009). Methodologies for data quality assessment and improvement. *ACM Computing Surveys*, 41(3), 1–52. <https://doi.org/10.1145/1541880.1541883>
- Batini, C., & Scannapieco, M. (2006). *Data Quality: Concepts, Methodologies and Techniques*. Springer Science & Business Media.
- Berumen, S. A., & Redondo, F. L. (2007). *La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad creciente*. 24.
- Bogdanovic, D., Nikolic, D., & Ilic, I. (2012). Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 84(1), 219–233. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652012005000013>
- Caro, A., Fuentes, A., & Soto, M. A. (2013). *Desarrollando sistemas de información centrados en la calidad de datos*. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100006
- Castro, J. (2016, August 11). Importancia de la tecnología en las empresas en crecimiento. *Blog Corponet*. <https://blog.corponet.com.mx/importancia-de-la-tecnologia-en-las-empresas-en-crecimiento>
- Department for Communities and Local Government, E. H. (2009). *Multi-criteria analysis: A manual*. www.communities.gov.uk
- English, L. P. (2009). *The TIQM® Quality System for Total Information Quality Management: Business Excellence through Information Excellence*. MIT Information Quality Industry Symposium. http://mitiq.mit.edu/IQIS/Documents/CDOIQS_200977/Papers/01_06_T2D.pdf
- Expert Choice. (2004). *AHP Software for Decision Making and Risk Assessment*. <https://www.expertchoice.com/2020>
- Gómez, J. C. O., Alcaraz, J. L. G., & Duque, D. F. M. (2018). *AHP Topsis para la selección de proveedores considerando el riesgo asociado a la calidad*. 13.
- Harris, R. (2012). *Introduction to Decision Making, Part 1*. <https://www.virtualsalt.com/crebook5.htm>
- Hernández Santibáñez, M. I., Giraldo Correa, L. F., Gaviria Ramírez, L. A., Wilches David, Á. M., & Osorio Gómez, J. C. (2017). Priorización de despachos con AHP difuso y Topsis. *Revista Tecnura*, 21(52), 102. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a08>

- Jarke, M., & Vassiliou, Y. (1999). *(PDF) Data Warehouse Quality: A Review of the DWQ Project*. https://www.researchgate.net/publication/2241530_Data_Warehouse_Quality_A_Review_of_the_DWQ_Project
- Kathrin, K. (2011). *On the importance of data quality in services: An application in the financial industry*. <https://www-scopus-com.biblioteca.unimagdalena.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-83055169706&origin=resultslist&sort=cp-f&src=s&st1=%22importance+of+data+quality%22&st2=&sid=b6b5ade4d8co748e735cb353c98382ab&sot=-b&sdt=b&sl=35&s=TITLE%28%22importance+of+data+quality%22%29&relpos=6&citeCnt=2&searchTerm=>
- Loshin, D. (2014). *Issues and Opportunities in Data Quality Management Coordination*. <https://search.proquest.com/openview/fc4ca450bdab865adcd11cfa8f8f9ac/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51938>
- Lozano Cortijo, L. (1998). ¿Qué es calidad total? *Revista Medica Herediana*, 9(1), 28–34. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1018-130X1998000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- PowerData. (2018). *Calidad de Datos. Cómo impulsar tu negocio con los datos*. <https://www.powerdata.es/calidad-de-datos>
- Redman, T. C. (2008). *Data Driven: Profiting from Your Most Important Business Asset*. Harvard Business Press.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Scannapieco, M., Virgillito, A., Marchetti, C., Mecella, M., & Baldoni, R. (2004). The DaQuinCIS architecture: A platform for exchanging and improving data quality in cooperative information systems. *Information Systems*, 29(7), 551–582. <https://doi.org/10.1016/j.is.2003.12.004>
- Storey, V. C., Dewan, R. M., & Freimer, M. (2012). Data quality: Setting organizational policies. *Decision Support Systems*, 54(1), 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.06.004>
- Wang, R. Y., Kon, H. B., & Madnick, S. E. (1993). Data quality requirements analysis and modeling. *Proceedings of IEEE 9th International Conference on Data Engineering*, 670–677. <https://doi.org/10.1109/ICDE.1993.344012>
- Y., L., T., L., & C., H. (1994). “TOPSIS for MODM” (Vol. 76). *European Journal of Operational Research*.

Proposta de política de ciência, tecnologia e inovação baseada na gestão do conhecimento para um *cluster* de pequenas empresas de energia solar

José C. Alvarez¹, Kazuo Hatakeyama², Mercedes I. Carazo³, Angel Hurtado⁴

pcijjalv@upc.edu.pe; khatakeyama875@gmail.com; minescarazo@gmail.com;
pcinahur@upc.edu.pe

¹ Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Prolongación Primavera 2390, Lima 33, Lima, Peru.

² Enterprise Consulting Office, Salvador, Bahia, Brasil.

³ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, German Amézaga 375, Lima 1, Lima, Perú.

⁴ Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Prolongación Primavera 2390, Lima 33, Lima, Peru.

Pages: 65–77

Resumo: Este artigo refere-se a análise da gestão de conhecimento, nas suas diferentes manifestações, num *cluster* de pequenas empresas de energia solar em Arequipa no Peru. Foi tomada uma amostra de empresas deste *cluster*, na qual foi aplicado um questionário visando identificar: o conhecimento disponível, formas de aquisição, requerimento prévio, avaliação do aprendizado e inovações introduzidas. Após a análise e a discussão dos resultados, foi desenvolvida uma proposta de política de ciência, tecnologia e inovação para o aperfeiçoamento do referido *cluster*.

Palabras-clave: *Cluster* de energia solar; energias renováveis; gestão de conhecimento; política de ciência e tecnologia

Proposal of science, technology, and innovation policy based on knowledge management for the small enterprises of a solar energy cluster

Abstract: This article refers to the analysis of the knowledge management, in its different manifestations, in the cluster of small enterprises of solar energy located in Arequipa in Peru. A sample of enterprises of this cluster was taken, in which questionnaire was applied aiming to identify the available knowledge, acquisition modes, previous requirements, learning assessment and introduced innovations. After the analysis and the discussion of results, developed the proposal of science, technology, and innovation policies for the improvement of this cluster.

Keywords: Cluster of solar energy, renewable energies, knowledge management, science and technology policy.

1. Introdução

Um cluster pode ser entendido como uma formação quase espontânea de empresas que se agrupam em torno de uma tecnologia ou vantagem competitiva em um espaço geográfico específico, conceito desenvolvido inicialmente por Porter (1998). Ao que Huggins (2008) acrescenta que os clusters podem: *“influenciar positivamente o crescimento econômico de três formas principais: aumentando a produtividade das empresas sediadas em uma determinada área; impulsionar a direção e o ritmo da inovação, sustentando o crescimento futuro da produtividade; e estimular a formação de novos negócios, ampliando e fortalecendo o próprio cluster”*.

Os *clusters* de pequenas empresas, embora sua construção quase espontânea e aleatória, poderiam beneficiar-se de políticas de ciência e tecnologia em concordância com um plano de Estado que vise apoiar sua atividade econômica. Para isto é necessário ter estudos para conhecer as trajetórias, a capacidade de absorção tecnológica destes arranjos produtivos locais.

No Peru, poucas políticas de ciência e tecnologia apóiam os clusters, talvez devido à escassez de trabalho sobre a realidade tecnológica e as necessidades desses arranjos produtivos locais. Dentre estes, o cluster de energia solar de Arequipa tem características que merecem seu estudo, embora tenha sido negligenciado no diagnóstico peruano de clusters (Metis Gaia, 2013), nem foi considerado nos poucos suportes para clusters no Peru (Innovate Peru, 2017).

A vantagem de contar com um estudo deste tipo vai permitir conhecer como é a dinâmica de aprendizado no interior do *cluster*, suas necessidades, sua trajetória e a sua capacidade de absorção tecnológica.

No que se concerne a estudos de *clusters* de pequenas empresas, em geral, os de energias renováveis, na literatura encontram-se vários artigos. Benedek *et al.*(2013), após salientar o modelo de Porter (1998) para a compreensão dos *clusters*, adota a premissa que a produção descentralizada de energia contribui ao desenvolvimento regional e a renda. Apresentam uma proposta para implementar melhoras num *cluster* de energia geotérmica na Romênia, consistente no desenvolvimento de capacidades de pesquisa dos atores locais, intercâmbio de experiências e transferência de conhecimento.

Jaegersberg & Ure (2011), após o estudo de cinco *clusters* europeus de energia solar sugerem que estes poderiam aprender das experiências de outros mais desenvolvidos, salientando a importância das universidades e a necessidade de uma abordagem da base mencionada. Para elas a energia solar ainda se encontra na sua fase inicial de desenvolvimento, porém com potencial promissor para as empresas.

O tema da internacionalização destes arranjos produtivos locais, importante embora não seja foco deste trabalho, é tratada por Galviz *et al.* (2018) que estudaram o caso do *cluster* de confecções Donmatias na Colômbia.

Um aspecto importante a considerar em *cluster* de empresas de alta tecnologia, é a influência da rede de inovação na aprendizagem tecnológica e o rendimento desta. A rede de inovação facilita a obtenção da informação técnica diversa, no que concerne à aprendizagem tecnológica, influí na inovação das empresas de alta tecnologia.

As redes de inovação requer a construção de relações de confiança entre as empresas do *cluster*, assim como os agentes relacionados como as universidades, institutos de pesquisa, provedores, clientes, entidades do governo nacional ou regional (Pan et al., 2018). Basicamente, o capital social e valores compartilhados são relevantes na capacidade dinâmicas das redes de inovação (Cabanelas *et al*, 2013).

Por outro lado este artigo é uma extensão atualizada segundo os objetivos de desenvolvimento sustentável e contextualizada na denominada nova normalidade, post Covid-19, a partir de um trabalho anterior apresentado por Alvarez & Hatakeyama (2015).

2. Metodologia

A metodologia empregada foi o estudo de caso. O questionário aplicado foi formulado segundo a revisão de conceitos teóricos sobre as características dos *clusters*, a capacidade de absorção tecnológica e a habilidade operacional.

O questionário foi aplicado a sete pequenas empresas do *cluster* de energia solar de Arequipa. Salientando que sete é uma amostra aceitável considerando que atuam na região 51 empresas formais. A maioria delas importam os produtos, instalam e desenham os projetos de energia solar.

Os resultados dos questionários após coletados foram analisados e discutidos comparando-os com dados existentes de outras experiências da literatura.

Apos disso, é apresentada uma proposta inovadora de intervenção de solução, seguida de conclusões.

3. Resultados

A trajetória tecnológica do *cluster* de empresas de energia solar em Arequipa teria iniciado quando um instituto público de pesquisa (ITINTEC) transferiu em 1986 um pacote tecnológico para a fabricação de aquecedores solares baseados em placas planas e tubos, a uma empresa local (E8). Com passar do tempo, esta tecnologia foi difundida na região de Arequipa. Uma empresa E9 aprofundou o uso desta tecnologia, fazendo uma posterior aliança com uma brasileira fornecedora de tecnologias solares.

Sendo conhecidas duas variações em relação à captação de energia solar térmica: a tradicional com tubos empregando placas planas e a de coletores planos com tubos à vácuo. Atualmente, algumas empresas de energia solar deste cluster continuam fabricando aquecedores solares com coletores de placas planas, entretanto outras importam coletores com tubos à vácuo para seus equipamentos solares. Já em relação à tecnologia solar fotovoltaica, todas as empresas do *cluster* de Arequipa compram de países estrangeiros.

Sete empresas, constituindo uma amostra de cerca de 15% das formais pertencentes ao *cluster* foram entrevistadas, sendo os produtos que estas oferecem:

- Energia solar térmica: aquecedores de água (domésticos, industriais, comerciais), cozinhas solares, secadores solares, etc.
- Energia solar fotovoltaica: painéis, iluminação fotovoltaica, bomba fotovoltaica.

3.1. Conhecimento disponível nas empresas do cluster

Na tabela 1 é apresentado o conhecimento disponível declarado pelas empresas da amostra.

Empresa	Resultados
<i>E1</i>	“Seleção de produtos, conversão de energia fotovoltaica desde 12 V a 220 V, determinação de requerimentos elétricos de aquecedores considerando 30 litros por pessoa, instalação de equipamentos”.
<i>E2</i>	“Conceitos, identificação de especialistas estrangeiros, processos de produção, qualidade técnica e vendas”.
<i>E3</i>	“Bomba solar fotovoltaico, aquecimento de água, dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede”.
<i>E4</i>	“O empreendedor é um engenheiro eletrônico da Universidad Nacional San Agustín - UNSA que tem participado de vários eventos em energia solar. Identificação de informação disponível em Internet e alianças estratégicas com outras pequenas empresas. Projeto para abastecer água quente para um curtume”.
<i>E5</i>	“Acerca de aquecimento de água para uso doméstico e industrial. Conhecimento para desalinizar. Instalação de painéis fotovoltaicos”.
<i>E6</i>	“Conhecimento teórico e prático de princípios físicos sobre o processo de transformação da energia solar em energia térmica e em elétrica”.
<i>E7</i>	“Produção de tubos, tanques, importação, distribuição (vendas e representações comerciais)”.

Tabela 1 – Conhecimento disponível nas empresas

As empresas apresentam um conhecimento dos conceitos e fundamentos teóricos de energia solar, ao mesmo tempo, da aplicação prática dos mesmos, tanto nos processos de produção como de instalação. Temas de qualidade e identificação de especialistas estrangeiros também são considerados.

No conhecimento organizacional eles declaram temas de alianças estratégicas com outras empresas e informação disponível na *Internet* (também técnica).

Na Tabela 2 estes conhecimentos são classificados por áreas.

<i>Energia solar</i>	Solar fotovoltaica: Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, instalação de painéis fotovoltaicos, determinação de requerimentos elétricos, princípios físicos da transformação de energia, bomba solar fotovoltaico.
	Solar térmica: Seleção de aquecedores considerando 30 litros por pessoa, instalação, treinamentos em energia solar, projeto de água quente para um curtume, aquecimento de água para uso doméstico e industrial, conhecimento para desalinizar, identificação de especialistas estrangeiros.
<i>Produção</i>	Processos de produção de tubos e tanques com qualidade.
<i>Comercialização</i>	Alianças estratégicas com outras pequenas empresas, importação, mercados, vendas.

Tabela 2 – Conhecimentos disponíveis no cluster segundo áreas.

3.2. Formas de aquisição de conhecimento

As formas como as empresas adquirem conhecimento percebe-se na Tabela 3. Estas empresas adquirem conhecimento nas seguintes formas: cursos e palestras, pela prática continua (*learning by doing*), disseminação mediante mobilização no *cluster*, revisão de fontes bibliográficas e na *Internet*, e mediante a importação de tecnologia estrangeira.

Empresa	Resultados
E1	Conferências informativas, capacitação com especialistas externos, análises de sistemas fotovoltaicos e sua instalação, <i>learning by doing</i> em ação, cursos em energia fotovoltaica em Lima.
E2	Cursos, prática, capacitação continuada em energia fotovoltaica.
E3	Captação de ideias em outros países por parte do empreendedor, contratação de engenheiros mecânicos de universidades de Arequipa, participação em cursos de energias renováveis na UNSA.
E4	Baseado na própria experiência do empreendedor como trabalhador em outra empresa, ensaios e testes.
E5	Participação em eventos e <i>workshops</i> , através de informação disponível em <i>internet</i> .
E6	O empreendedor é um físico especializado em energias renováveis, leitura de artigos especializados, intercâmbio de ideias em eventos.
E7	Pela importação e venda de produtos estrangeiros, fazendo <i>benchmarking</i> com outras empresas.

Tabela 3 – Formas de aquisição de conhecimento

3.3. Avaliação do aprendizado

As práticas encontradas são mostradas na Tabela 4. Estas empresas não têm sistematizado a avaliação do aprendizado. Contudo, elas trabalham com alguns indicadores indiretos: retroalimentação dos clientes, controle da qualidade das instalações, solução de problemas, *benchmarking* à competência e socialização do aprendizado.

Empresa	Resultados
E1	Controle de qualidade das instalações realizadas.
E2	<i>Benchmarking</i> com os concorrentes.
E3	Socialização do conhecimento
E4	Retroalimentação dos clientes
E5	Retroalimentação dos clientes
E6	Socialização da aprendizagem
E7	Solução de problemas.

Tabela 4 – Avaliação do aprendizado

3.4. Conhecimento requerido.

Estas empresas reconhecem que elas requerem adquirir conhecimento, como é visto na Tabela 5.

Empresa	Conhecimento requerido
E1	“Sempre tem se novos aspectos. Um cliente de uma empresa mineração procura-nos por uma instalação elétrica trifásica de 2 kWh que não se teria no Peru até agora. Para isto é necessário ter inversores de 600 W com três fases. Procuramos a informação na Internet”.
E2	“Conhecimento sobre marketing e vendas. Novas tecnologias e novos produtos. Comercialização e importação. A seleção de parceiro comercial estrangeiro”.
E3	“Novas tecnologias sobre painéis fotovoltaicos. Maior informação sobre kits fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Processos de manufatura de painéis fotovoltaicos. Otimização de aquecimento de água com energia solar”.
E4	“Maior conhecimento sobre energia solar. Projetos para o uso de energia solar: térmica e fotovoltaica. Design de projetos com energia fotovoltaica. Não se tem uma instituição que oferece treinamento neste tema”.
E5	“Sobre secadores solares e aquecimento do piso com radiação solar. Construir protótipos de casas aquecidas e coberturas para a proteção de animais nos andes”.
E6	“Sobre políticas energéticas. Novas tecnologias, diferentes tipos de tubos à vácuo e novos processos de manufatura”.
E7	“Sobre a importação e comercialização de equipamento usando energia solar. Novos produtos que utilizam energia solar”.

Tabela 5 – Conhecimento requerido pelas empresas do *cluster*

3.5. Inovações introduzidas.

A Tabela 6 ilustra a reflexão das respostas à questão: Que inovações tem introduzido a empresa?

Empresa	Inovações introduzidas
E1	“Oferecemos um novo tipo de aquecedor solar maior que os oferecidos pelas outras empresas do cluster”.
E2	“Lanternas solares para clientes mineiros. Fornos e cozinhas solares”.
E3	“Sistemas fotovoltaicos compactos. Sistemas de coletor solar tipo high pipe”.
E4	“Atenção personalizada ao cliente. Brinquedos solares. Produtos solares diversificados”.
E5	“Controle automatizado de sistemas solares para a indústria”
E6	“Sistemas automáticos de iluminação com energia solar. Sistemas de aquecimento de água para piscinas”.
E7	“Melhoras na funcionalidade e eficiência de aquecedores solares”.

Tabela 6 – Inovações introduzidas

Mais que as inovações, o que as empresas reportam corresponderia à difusão e uso de novas tecnologias importadas.

4. Discussão

Um fator decisivo para a existência deste *cluster* de energia solar em Arequipa é a disponibilidade do recurso natural. O aproveitamento da energia solar, pelas empresas deste *cluster*, considera dois aspectos: energia solar térmica e a solar fotovoltaica.

Os primórdios do *cluster* iniciam com uma transferência de tecnologia desde um grupo de pesquisa de uma empresa. Na literatura encontrou-se situação similar reportada por Guo & Guo (2011) em relação ao *cluster* de torres de esfriamento de Shangyu que teria iniciado com a transferência de tecnologia da Universidade Jiaotong. Pequenas empresas de energia solar se formam juntando-se a este *cluster* em forma análoga ao de Shangyu.

Embora o *cluster* iniciou com tecnologia própria, na atualidade esta concorre com a importada. Na realidade, configura-se uma árvore tecnológica dual (Escorsa & Valls, 2003) entre a tecnologia tradicional de tubos com placas planas e a importada com tubos à vácuo, que seria mais eficiente.

A trajetória tecnológica deste *cluster* teria um comportamento distinto segundo as tecnologias trabalhadas, assim a tecnologia solar fotovoltaica surge após a consolidação da tecnologia solar térmica que apresenta uma primeira etapa com a introdução e desenvolvimento de coletores de placas planas e uma segunda com a utilização de tubos à vácuo importados. Isto concorda com o preconizado por Dosi (1982) que em relação à trajetória tecnológica sustentam *“que mudanças contínuas são usualmente relacionadas ao progresso ao redor de uma trajetória tecnológica definida por um paradigma tecnológico, entanto que descontinuidades são associadas ao surgimento de um novo paradigma”*. O que teria acontecido com a introdução dos coletores solares com tubos à vácuo mais eficaz do que os tradicionais.

4.1. Conhecimento disponível nas empresas

As respostas sobre este aspecto aparecem na Tabela 1, sendo o conhecimento destas empresas acerca de sistemas fotovoltaicos e usos térmicos da energia solar.

As empresas do *cluster* no que tange à produção reportam conhecimentos em processos de produção, qualidade, produção de tubos e tanques, e melhoras incrementais analogamente ao cluster de Shanju apresentado por Guo & Guo (2011) declaram que *“nos clusters de manufatura na China, são firmas relativamente pequenas em tamanho, exceto para empresas líderes. Estas pequenas empresas destinam grande atenção a melhoras incrementais nos processos de manufatura”*.

No *cluster* é percebida uma capacidade de absorção potencial realizada segundo a concepção de Zahra & George (2002). A capacidade de absorção realizada do *cluster* reflete-se nos projetos e processos ao redor das energias renováveis.

4.2. Formas de aquisição de conhecimento

As empresas do *cluster* adquirem conhecimento numa forma um tanto desordenada e em função das suas necessidades:

- No próprio *cluster* pela rotação dos trabalhadores das empresas, fazendo *benchmarking* com outras, prática, análise e participação em instalações, mediante “*learning by doing*”.
- Capacitação mediante a participação em cursos e conferências, participação em eventos tanto em Arequipa como em Lima.
- Mediante a contratação de especialistas formados em energias renováveis pelas universidades da região e outras.
- Também ainda incipiente vigilância tecnológica baseada na leitura de artigos e pela importação e venda de produtos estrangeiros.

Boschma (2005) expressa que a proximidade cognitiva facilita a captação de conhecimento, embora esta proximidade cognitiva deve ser a suficiente para que aconteça a transferência e não muito próxima porque nesse caso inibir-se-ia a interação. Neste *cluster* a proximidade cognitiva ao redor dos temas das energias renováveis e a energia solar especificamente, resulta pertinente e a mesma facilita e explica os intercâmbios da Tabela 3.

Na realidade, trata-se de uma rede de conhecimento no sentido de Casas (2002), pois nesse espaço geográfico setorial o conhecimento sobre a energia solar é transferido e compartilhado.

4.3. Avaliação do aprendizado

As empresas do *cluster* avaliam o aprendizado, na sua maioria, através dos resultados nos seus projetos (solução de problemas, retroalimentação dos clientes, controle da qualidade das instalações), da socialização do conhecimento e *benchmarking* com os concorrentes.

No caso das empresas de alta tecnologia, sua atividade de aprendizagem tecnológica depende de três dimensões, suas capacidades de aquisição, de sua capacidade de interiorizar o conhecimento empresarial adquirido de fontes externas e convertê-lo em procedimentos operativos, assim como explorar, criar, desenvolver conhecimento para novas tecnologias e produtos (Pan *et al*, 2018).

4.4. Conhecimento requerido

Estas empresas reconhecem que elas necessitam adquirir novo conhecimento, que está focado em: *kits* fotovoltaicos conectados à rede elétrica, novas tecnologias e novos produtos sobre energia solar, usos da energia solar térmica e inteligência de negócios.

As respostas dos empreendedores refletem que o conhecimento requerido está em função das necessidades do mercado, com capacidade tecnológica local incipiente que é

complementada com a importação de tecnologia estrangeira na forma de componentes e produtos.

Nos aspectos sociais, estes requerimentos, segundo a empresa E5 na Tabela 5, percebe-se a necessidade de absorver conhecimento sobre o combate a friagem e congelamentos. Neste contexto a empresa privada pode contribuir à solução deste grave problema no Peru onde não somente tem-se contabilizado mortes de alpacas pela friagem, também a morte de pessoas pelo frio. É inaceitável que aconteça numa época onde o ser humano já sabe como e conta com elementos para enfrentar a friagem.

4.5. Inovações introduzidas

Em todos os casos, quando a empresa reporta as inovações introduzidas, na realidade, elas apresentam a difusão de tecnologias estrangeiras.

5. Proposta de política de ciência, tecnologia e inovação para o cluster

A proposta de política da ciência tecnologia e inovação para o *cluster* de energia solar de Arequipa – Peru é focada segundo três eixos, de acordo com o imperativo de “pensar globalmente e atuar localmente”, a saber: i) Coincidência com os objetivos de desenvolvimento sustentável, ii) Desafios ante um novo paradigma global marcado pela aparição da pandemia do Covid 19, e iii) As necessidades específicas em gestão do conhecimento do *cluster* estudado.

5.1. Coincidência com os objetivos de desenvolvimento sustentável

Em setembro de 2015, a Assembleia Geral das Nações Unidas adotou as metas de desenvolvimento sustentável (*Sustainable Development Goals - SDG*) com todas as nações perseguindo o princípio de “Propiciar a dignidade até 2030: erradicar a pobreza, transformar as vidas e proteger o planeta”. Isto implica que todos os cidadãos, desde dos países mais pobres do mundo aos mais ricos devem ter a mesma oportunidade de apropriar-se dos objetivos e ter o poder para se tornar agentes da mudança (Chin & Jacobsson, 2016). Na Figure 1 apresenta-se os 17 parâmetros considerados no SDG.

Os objetivos de desenvolvimento sustentável são erradicar a pobreza, acabar com a fome, vida saudável, educação de qualidade, igualdade de gênero, água e saneamento, energias renováveis, trabalho digno e crescimento econômico, inovação e infraestruturas, reduzir as desigualdades, cidades e comunidades sustentáveis, produção e consumo sustentáveis, combater as alterações climáticas, oceanos mares e recursos marinhos, ecossistemas terrestres e biodiversidade, paz e justiça, e parcerias para o desenvolvimento. Salvia et al (2019) contrastam esses objetivos globais com alguns objetivos ambientais locais e experiências regionais em todo o mundo.



Figura 1 – Metas de desenvolvimento sustentável. Fonte: UNDP (2018)

A utilização da energia solar disponível na região de Arequipa poderia contribuir a redução da pobreza, em particular da pobreza energética, pois as empresas do *cluster* se converteriam nos vectores para receber recursos financeiros do governo regional para difundir e instalar as energias renováveis.

O *cluster* deveria ser incentivado a desenvolver aplicações de energias renováveis para a cadeia produtiva e para o cultivo de alimentos, tais como estufas para a secagem e desidratação de alimentos com energia solar, bem como os sistemas de refrigeração com energia solar para o transporte de alimentos.

Com uma aplicação do conceito de autarquia energética (Müller *et al.*, 2001) na região de Arequipa, vai-se promover a vida saudável.

A educação de qualidade pós-pandemia Covid 19 cada vez vai requerer componentes à distância, porém adequados sistemas de acesso à *Internet*, no qual a energia solar para instalações *off-grid* tornará uma opção necessária, a ser canalizada através deste *cluster*.

A igualdade de gênero só será conseguida mediante créditos do governo e capital semente para que novas empreendedoras possam passar a formar parte do *cluster*.

A região de Arequipa, pelo fato de contar com a vantagem natural de uma forte radiação solar, tem os elementos para se tornar uma região sustentável. Para isto o desenvolvimento do *cluster* deve ser promovido.

5.2. Considerações post-Covid 19

Considerando que a pandemia do Covid 19, trouxe novo um cenário marcante de antes e outro depois deste inesperado fenômeno devastador de âmbito global. Espera-se que, após cessar o efeito da pandemia, o setor de geração e uso da energia elétrica experimente uma dinâmica mais agressiva de mudanças. A estagnação da economia com as taxas cambiais afetadas para a definição de investimentos em projetos futuros de geração de energia solar não deve ser recuada.

Superada as questões relacionadas à pandemia de Covid 19 e equacionada a questão cambial pela desvalorização da moeda, o setor de geração de energia solar do país deverá apresentar uma rápida retomada nos próximos anos. Com a prática forçada, devido à pandemia do Covid 19, de criar hábitos de resolver os problemas em confinamento, utilizando instrumentos eletrônicos e computacionais, os habitantes residentes nas áreas remotas merecem ser contemplados com os projetos de geração de energia elétricas com a utilização de equipamentos fotovoltaicos.

A China, um dos países fornecedores de componentes para a energia solar, após superar a fase crítica do Covid 19, há uma previsão de que no segundo semestre reaja fortemente para esse setor, recuperando as perdas no primeiro semestre. No atual contexto da matriz energética existente é possível prever que existe muito espaço para crescer na geração de energia solar no país e que favorece a perspectiva no aumento de consumo com a utilização de equipamentos de tecnologia avançada.

5.3. Em função as necessidades em gestão do conhecimento, criatividade e inovação

Considerando o encontrado na pesquisa acerca da gestão do conhecimento, o aprendizado e a inovação se propõe:

Desde o governo regional e nacional,

- A formulação de um *Roadmap* de energia solar.
- Com a finalidade de facilitar os processos de aprendizagem tecnológica das empresas do *cluster* de energia solar, se requer fomentar o fortalecimento da rede de inovação mediante maior aproximação entre as universidades e institutos de pesquisas, mediante projetos conjuntos de P+D, estágios de especialistas de países com maior desenvolvimento tecnológico em energia solar para que interatuem com as empresas e investigadores de universidades e institutos nacionais.
- Apoiar iniciativas das empresas do *cluster* em eventos anuais que se pode gerar um programa de fundos concursáveis por um horizonte de tempo.
- Concursos para o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas

Desde as empresas do *cluster*

- Fortalecer sua governança e suas relações de confiança, mediante atividades conjuntas (sob a associação empresarial a que pertençam), por exemplo, financiar a chegada de especialistas internacionais para que os assessore em temas de interesse tecnológico comum, ou organizar missões tecnológicas ao exterior.

- Impulsar feiras de caráter comercial e de intercâmbio de experiências tecnológicas.
- Trabalhar em construir e posicionar a marca regional de tecnologia em energia solar.

Desde a universidade.

- Definir linhas de pesquisa em desenvolvimento de tecnologias a ser transferidas às empresas do *cluster* de energia solar.
- Desenvolver programas de treinamento tecnológico e de gestão de recursos de energia solar.

6. Conclusões

Pelo resultado da pesquisa de uma amostra de empresas, de geração de energia solar no cluster localizado em Arequipa, percebe-se que há muito que ser feito para atingir a eficácia na produção racional e sustentável. Nesta pesquisa, com resultado apenas de aspecto qualitativo, constata que a ineficácia na produtividade decorre de vários fatores envolvendo desde o poder público, as empresas e os consumidores. Necessita de uma política consistente do poder público, atuando como catalizadora no desenvolvimento na geração alternativa e sustentável de energia elétrica, alocando recursos financeiros de longo prazo. As empresas, no que lhe concerne, necessitam de aporte financeiro suficiente para custear os mecanismos de interface de transferência de tecnologia, de formação de recursos humanos com as universidades, centro de pesquisas e fornecedores de tecnologia especializada. Os consumidores devem ser conscientizados para adquirir hábitos de uso da energia evitando os desperdícios. Por fim, a sugestão que se realize uma pesquisa envolvendo a amostragem com maior número de empresas capazes de gerar resultados quantitativos para dar suporte à tomada de decisão.

Referencias

- Alvarez, J.C., & Hatakeyama, K. (2015). Knowledge networks to improve the technological capability in a solar energy enterprise cluster. In *Portland International Center for Management of Engineering and Technology - PICMET 2015*, (pp. 2242-2247). Portland, OR, USA: PICMET
- Benedek J., Cristea M. & Bartók, B. (2013). Regional Development and Establishment of Renewable Energy Clusters in North-West Region of Romania. *Environmental Engineering and Management Journal*, v. 12, n. 2, 237-244.
- Boschma R. (2005). Proximity and Innovation: A Critical Assessment. *Regional Studies*, 39 (1), 61-74.
- Cabanelas P., Omil J. C. & Vázquez X. H. (2013). A methodology for the construction of dynamic capabilities in industrial networks: The role of border agents. *Industrial Marketing Management*, 42(6), 992-1003.
- Casas R. (2002). Redes regionales de conocimiento en México. *Comercio Exterior*, 52(6), 492-506.

- Chin A. & Jacobsson T. (2016). TheGoals.org: mobile global education on the Sustainable Development Goals. *Journal of Cleaner Production*, 123, 227 - 229.
- Dosi G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. A suggesting interpretation of the determinants and directions of the technical changes. *Research Policy*, 11 (3), 147-162.
- Escorsa, P. & Valls, J. (2003). *Tecnología e innovación en la empresa*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Galviz D. F., Caycedo V. M., Simancas R., Solórzano J. & Montoya C. M. (2018). Los clústers, la tecnología y la academia, una inminente trilogía en las PYMES de confección de Donmatías, en su proceso de internacionalización. *Revista Espacios*, v.39, n.11, p. 8. Recuperado de: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n11/a18v39n11p08.pdf>
- Guo B. & Guo J.J. (2011). Patterns of technological learning within the knowledge systems of industrial cluster in emerging economies: Evidence from China. *Technovation*, 31(2-3), 87-104.
- Huggins, R. (2008). The evolution of knowledge clusters: Progress and policy. *Economic Development Quarterly*, 22 (4), p. 277-289
- Innovate Peru (2017). Programa de Apoyo a clusters, acessível em: <https://innovateperu.gob.pe/convocatorias/por-tipo-de-concurso/concursos-para-instituciones-del-ecosistema/178-programa-de-apoyo-a-clusters>
- Jaegersberg G. & Ure J. (2011). Barriers to knowledge sharing and stakeholder alignment in solar energy clusters: Learning from other sectors and regions. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(4), 343-354.
- Metis Gaia (2013). Informe final mapeo de clusters, acessível em: <https://vdocuments.mx/download/informe-final-mapeo-clusters>
- Müller M., Stämpfli A., Dold U. & Hammer T. (2011). Energy autarky: A conceptual framework for sustainable regional development. *Energy Policy*, 39(10), 5800-5810.
- Pan X., Song M. L., Zhang J. & Zhou G. (2018). Innovation network, technological learning and innovation performance of high-tech cluster enterprises. *Journal of Knowledge Management*, 23(9), pp. 1729-1746.
- Porter M. E. (1998). *Competitive Strategy*, Free Press, 1980, republished in 1998, New York.
- Salvia A. L., Leal Filho L., Brandli L. L. & Griebelle J. L. (2019). Assessing research trends related to Sustainable Development Goals: local and global issues. *Journal of Cleaner Production*, v. 208, 841-849.
- UNDP. (2018). United Nations Program for Development. Retrieved in <<https://nacoesunidas.org/agencia/pnud/>>. Access in: October 12, 2018.
- Zahra, S & George, G (2002). "Absorptive capacity: a review, reconceptualization and extension", *Academy of Management Review*, 27 (2), pp: 185-203.

La Gestión del Conocimiento en Ciudades a través de la Teoría de Grafos

Guillermo Rodríguez¹, Diego Cordero², Vanessa Bermeo², Giovanny Pesántez¹

mgrodriguezl@ucacue.edu.ec; dcordero@ucacue.edu.ec; kbermeo@ucacue.edu.ec; wgpesantezm@ucacue.edu.ec

¹ Universidad Católica de Cuenca, La Troncal, 030450, Ecuador.

² Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, 010107, Ecuador.

Pages: 78–90

Resumen: El término “Tecnologías Emergentes” ha evolucionado hace algunas décadas, sin embargo, en el presente sigue siendo un tema de investigación en varios proyectos dentro del campo tecnológico. A pesar de ello, en la región, este tópico es aún desconocido, por consiguiente, no es aprovechado en el campo académico o investigativo. Por ello, el trabajo usa la teoría de grafos, para evaluar la resistencia o vulnerabilidad de las redes urbanas, a través de un modelamiento matemático, que es aplicado en varias ciudades del Ecuador y la ciudad de Panamá, como elemento de contraste. El problema que se aborda es la falta de conocimiento que existen en estas ciudades para contrarrestar índices de crecimiento demográfico, tráfico vehicular, embotellamientos y movilidad. Los resultados obtenidos son un primer indicador para futuras investigaciones relacionadas con el problema urbano de las ciudades de la región.

Palabras-clave: Teoría de Grafos; Gestión de Conocimiento; Redes Urbanas.

Graph-based Knowledge management in cities

Abstract: The term “Emerging Technologies” has evolved some decades ago, however, at present it continues to be a research topic in various projects within the technological field. Despite this, in the region, this topic is even unknown, therefore, it is not used in the academic or research field. For this reason, the work uses graph theory to evaluate the resistance or vulnerability of urban networks, through mathematical modeling, which is applied in several cities of Ecuador and the city of Panama, as a contrast element. The problem being addressed is the lack of knowledge that exists in these cities to counteract rates of demographic growth, vehicular traffic, traffic jams and mobility. The results obtained are a first indicator for future research related to the urban problem of the cities of the region.

Keywords: Graphic Schema Theory; Knowledge Management; Urban Networks.

1. Introducción

El crecimiento poblacional, incremento del tráfico vehicular, proliferación de industrias, empresas, negocios globalizados y sucesos adversos naturales y sociales; afectan la capacidad que tienen las infraestructuras urbanas para resistir, amortiguar, adaptarse y recuperarse ante estos hechos. En la actualidad este enfoque se conoce como resiliencia, si una estructura o infraestructura social es golpeada y afectada se vuelve más vulnerable a futuros eventos adversos recurrentes (Batty, 2013). Ahora la primera interrogante es, ¿cómo lidiar con estos inconvenientes para mitigar y desacelerar el aumento de los efectos negativos en las distintas estructuras sociales?

Una alternativa para responder estos cuestionamientos, es hacer uso de la tecnología computacional de vanguardia. Estas tecnologías, facilitan la gestión de grandes cantidades de datos, análisis y visualización de resultados. Todo esto, proporcionó nuevos conocimientos que ayudaron a entender las diferentes variables que mantienen incidencia sobre el ecosistema urbano. La teoría de grafos, es usada dentro de esta investigación para identificar las características de ciudades intermedias y grandes de Ecuador y Panamá. Esto, se realizó con la intención de ayudar a detectar a tiempo la morfología de diferentes ciudades en diferentes regiones. En este sentido, se observa si una ciudad se está expandiendo de forma planificada o desordenada, especialmente en su red de carreteras. Por ejemplo, si se determina que una ciudad crece de manera desordenada es probable que sean vulnerable a eventos recurrentes de tipo catastrófico, entonces, es posible alertar acciones que desactiven los efectos adversos. Por lo tanto, se presentan algunas alternativas para aprovechar esta tecnología para apoyar la gestión de los sectores comerciales, industriales, residenciales en aspectos de accesibilidad, movilidad y tráfico vehicular.

Las mediciones realizadas en este trabajo implican: identificar el crecimiento planificado o desorganizado de las ciudades a partir del número de callejones sin salida o nodos de grado 1 y el número de intersecciones (nodos) de cuatro enlaces (bordes) o de grado 4 (Agryzkov, et al., 2017). Puesto que, cuando una ciudad posee mayor número de nodos de grado 1 y 3 enlaces, que los de grado 4 o la diferencia es mínima sea en redes simples o dirigidas, es un indicio para diagnosticar que la planificación de estas ciudades es deficiente. Por lo tanto, es una alerta para evaluar el grado de conectividad, centralidad de intermediación, centralidad de cercanía y excentricidad de la red urbana (Zhang, et al., 2017). Esto, es un indicio que la ciudad tiene problemas de congestionamiento de tráfico de vehículos motorizados, problemas de movilidad y accesos rápidos a los sectores más alejados especialmente en eventos adversos como desastres climáticos, epidémicos, manifestaciones sociales, entre otros.

Como caso de estudio completo se toma la ciudad de Cuenca, en Azuay – Ecuador,

la red urbana de esta ciudad muestra datos preocupantes con relación al crecimiento demográfico urbano, revelando una morfología urbana desorganizada o mal planificada. En donde, el número de callejones sin salida o de retorno es 2575, que implica un promedio del 21.73% y la cantidad de nodos de grado 4 es de 1634, que representa el 13, 79%. Por otro lado, la conectividad de la red urbana de Cuenca es 2.26 y está por debajo del promedio de conectividad de las ciudades que es de 2.5. Este indicador es calculado como $c = n/v$, donde, c es la conectividad, n es el número total de nodos y v el

número total de vértices. Esto permite entender, que la ciudad tiene una característica morfológica de auto organización o sin planificación, es decir, el primer indicador es mayor por 8 puntos al segundo, por lo tanto, la ciudad está creciendo al azar. Este indicador sumado a otros realizados hace prever que la ciudad a futuro tendrá mayores inconvenientes de tráfico, movilidad y accesibilidad en los diferentes sectores, especialmente en escenarios adversos de desastres cuando se deba movilizar a víctimas desde los sectores más alejados, donde hay carreteras en mal estado. Los resultados, contribuyen con recomendaciones confiables de mejorar la vialidad urbana en sectores estratégicos que ayuden a atenuar y mejorar la viabilidad disminuyendo los tiempos de acceso. El estudio revela también que el sector norte de la ciudad de Cuenca es el más vulnerable a problemas urbanos, en donde es urgente construir nuevas avenidas y que se mejoren las existentes. Esto ayudará a descongestionar las vías por el exceso de la demanda vehicular frente a una reducida oferta de vías óptimas para el tránsito actual.

2. Materiales y Métodos

2.1. Marco Teórico

En tecnologías computacionales los grafos son ampliamente utilizados en varios campos, entre ellos el análisis de redes, por ejemplo. Los grafos son estructuras complejas y están formados por vértices (V) también llamados nodos y por bordes también conocidos como aristas (del inglés *Edge*, E). Los grafos pueden ser utilizados para el análisis de redes sociales para evaluar el comportamiento de los miembros de una red, como su grado de conectividad, su longitud, centralidad, dispersión, resistencia, entre otros (Curtiss, 2013). Un grafo se representa como $G = (V, E)$, está formado por un par de valores, relacionados entre sí formando una red simple o compleja, como se indica en la Figura 1.

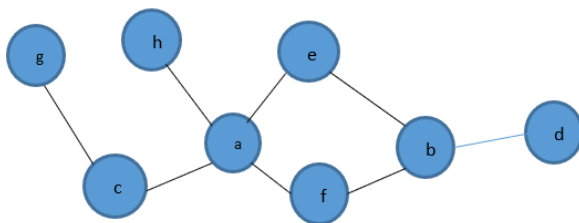


Figura 1 – Representación de un grafo general.

El grado de un grafo, se conoce como el número de incidencias o aristas que conecta con el vértice, por ejemplo, en la figura 1 el vértice a tiene grado 4, el vértice c tiene grado 2 y el vértice h tiene grado 1 (Agryzkov, et al., 2017).

La teoría de grafos tiene más de un siglo desde su invención, sin embargo, es en la actualidad donde se aborda con más fuerza por su estrecha relación con las tecnologías, puesto que requiere de altas prestaciones computacionales para los análisis de algoritmos complejos. Los tipos de estructuras utilizadas aquí van desde Grafos, Multígrafos, Dígrafos y Multígrafos, este tema se amplía en (Sirmacek, 2018).

La *centralidad de la intermediación* (Betweenness Centrality BC) se basa en la idea de que un vértice es más central a medida que más rutas de bajo costo pasan a través de él. El método tradicional para calcular la intermediación, así como otras medidas de centralidad fue desarrollado originalmente en el ámbito social y ha sido aplicado recientemente en las redes urbanas para análisis de tráfico motorizado (Al-Majhad et al., 2018). La BC se describe como un grafo $G(V, E)$ donde V es un conjunto de nodos o vértices (intersecciones de calles) y E es un conjunto de aristas o enlaces (calles), la centralidad intermedia mide la importancia de un vértice $v \in V$ para conectar dos aristas $p, q \in E$ considerando las rutas más cortas. La centralidad Intermedia (Wang J., 2015; Ji & Yan, 2017), se rige por la ecuación:

$$B_i = \sum_{j \neq g \in G} \frac{B_{jg}(i)}{B_{jg}} \quad (1)$$

Donde $B_{jg}(i)$, es el número de rutas más cortas entre los dos vértices j y g que pasan por el vértice i , B_{jg} , es el número de caminos más cortos entre ellos.

La *centralidad cercana* (Closeness Centrality CC) es una medida que indica la distancia promedio de todas las rutas más cortas desde un vértice v hasta cualquier otro vértice $n-1$ accesible dentro de la red (Wang J., 2015; Masucci & Molinero, 2016). La centralidad cercana indica que tan alto está conectado un nodo en el grafo, se normaliza sumando todas las distancias mínimas posibles y se calcula con:

$$C_i = \frac{v - 1}{\sum_{i \neq v \in G} d_{iv}} \quad (2)$$

Donde d_{iv} , es la distancia más corta en un grafo G entre un vértice i y otro vértice v . Los vértices que tienen una longitud promedio pequeña hacia el resto de los vértices, se dice que tienen una gran centralidad cercana.

La *excentricidad* $e(v)$ de un nodo v en una red conectada G es la distancia máxima 1 (en la red) entre v y u , sobre todos los nodos u de G . Esta medida permite encontrar los nodos más alejados de una red según el número de nodos que deben recorrer, también se puede entender a la excentricidad como el opuesto de la cercanía CC (Krcnc, et al., 2018), así:

$$e(v) = \max\{d(u, v) | u \in B(G)\} \quad (3)$$

Las fórmulas 4,5,6 sirvieron para calcular, malla M y orgánico rv y F número de lados, estas medidas son para comprobar si una ciudad es enmallada (planificada) con calles tipo cuadradas o auto organizada construidas aleatoriamente:

$$F = E - V + 1 \quad (4)$$

$$M = \frac{F}{2V - 5} \quad (5)$$

$$r_v = \frac{V(1) + V(3)}{\sum_{j \neq 2} V(j)} \quad (6)$$

2.2. Metodología

Para empezar, descargamos los datos geográficos y vectoriales desde Open Street Maps OSM que es una base de datos libre. Se utilizó, los métodos de carga como son: nombre del lugar, cuadro delimitador, polígono, centro y radio, dando las coordenadas de latitud (lat) y longitud (lon) respectivas (Boeing, 2017). En cambio, para el análisis de las infraestructuras viales, se usan varias aplicaciones computacionales como Networkx, OSMnx, matplotlib, entre otras librerías disponibles para cargar las redes urbanas y graficarlas.

La presente investigación esta enfocada en resultados cuantitativos producto de analizar datos masivos de grafos de redes urbanas, con indicadores morfológicos, topológicos, geoespaciales y tiempo de viaje; de las ciudades grandes tanto en extensión y población como, Guayaquil, Quito y Cuenca de Ecuador y la ciudad de Panama, Panamá, esta última como referencia para ejecutar comparaciones o contrastes, con aspiraciones a replicar en otras ciudades de latinoamerica.

Se tomo a Cuenca - Ecuador para realizar un análisis más amplio con mediciones de granularidad mas fina por ser una ciudad de extensión intermedia. Donde, las características y propiedades identificadas de esta red urbana aclara el comportamiento de crecimiento de una ciudad. Esto con la finalidad de detectar a tiempo irregularidades de planificación urbana y distribución de su infraestructura, antes de agravar los problemas urbanísticos como en las grandes ciudades.

Por lo tanto, se ejecutaron análisis de redes de calles para cada una de estas ciudades, empleando las propiedades de la teoría de grafos para estimar: la morfología, centralidades, distribución de los nodos y calles más importantes. Los resultados permitieron detectar los sectores vulnerables o resistentes de la ciudad para la gestión del tráfico vehicular, movilidad y accesibilidad. Para esto, se consideran los nodos que en este caso representan a las intersecciones de calles y los enlaces que representan a los tramos de calles, elementos primarios para obtener las distintas mediciones.

También, se desarrolló una serie de algoritmos complejos ejecutados en Python aplicados al análisis de centralidad de intermediación (Betweenness Centrality); centralidad de cercanía (Closeness Centrality); excentricidad y WazeRouteCalculator con Dijkstra, este último para evaluar el tiempo y rutas más cortas.

3. Resultados

Para el análisis de las tres ciudades densamente pobladas de Guayaquil, Quito y Panamá, primero se realizó la descarga de las redes, luego, se evalúan para cada red los nodos de grado 1 correspondientes a los callejones sin salida y los nodos de grado 4 que representan a las intersecciones 4 enlaces (Boeing, 2018), se adjunta el código utilizado :

```

import osmnx as ox
%matplotlib inline
ox.config(log_file=True, log_console=True, use_cache=True)
x = float(input('Latitud: '))
y = float(input('Longitud: '))
G = ox.graph_from_point((x, y), distance=5000, network_type='walk')
culdesacs = [key for key, value in G.graph['streets_per_node'].items() if value==4]
nc = ['r' if node in culdesacs else 'none' for node in G.nodes()]
nodos=len(culdesacs)
print('Los nodos sin salida de Guayaquil son: ', nodos)
ox.plot_graph(G, node_color=nc)
G_projected = ox.project_graph(G)
ox.save_graph_shapefile(G_projected, filename='GUAYAQUIL')

```

Después de ejecutado el algoritmo, se obtienen las primeras características morfológicas de cada ciudad, aquí se puede distinguir las métricas de los grafos de red como la malla y orgánico. Este análisis es replicable para cualquier ciudad o zona urbana del mundo, como se muestra en la Figura 2. Se resaltan los vértices de cruce de calles pintadas de rojo, esto permite ver que sectores en las ciudades tienen su estructura tipo cuadrada o malla típica de una red urbana planificada y que se puede encontrar en los centros coloniales o históricos.

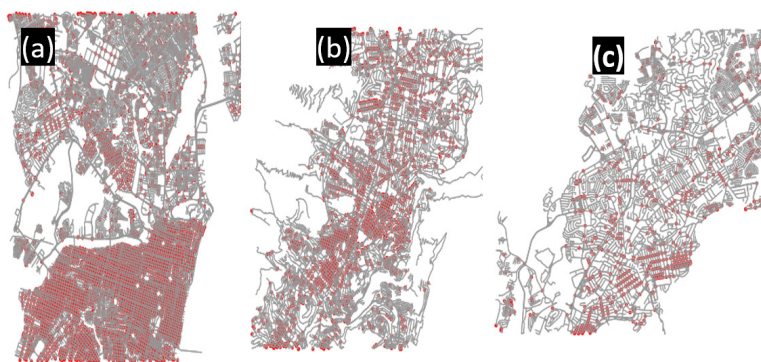


Figura 2 – Imágenes de las redes de Guayaquil (a), Quito (b) y Panamá (c)

Estas medidas son utilizadas para determinar si una ciudad o red urbana es planificada o auto-organizada (sin planificación o desorganizada). Este análisis, ayuda a comprender el comportamiento de las ciudades cuando tienen un crecimiento acelerado y las calles se van formando aleatoriamente, creando barrios o vecindarios sin planificación, frágiles a futuras amenazas de congestionamiento, movilidad y accesibilidad. Otro indicador que complementa esta medición, es calcular, ubicar y visualizar el número de callejones sin salida que tiene una red urbana, resultado que se muestra en la figura 3.



Figura 3 – Imágenes de las redes de Guayaquil (a), Quito (b) y Panamá (c), obtenidas usando código OSMnx

Por medio de este análisis se puede observar la densidad y la ubicación de los callejones sin salida, si una ciudad tiene una alta densidad de estos nodos, es probable que tenga un crecimiento sin planificación urbana especialmente en los sectores más densos.

Las figuras 2 y 3 muestran que las ciudades más tradicionales con estructuras de calles de tipo malla están en el sur de Guayaquil y en el centro de Quito, en los centros históricos. En cambio, la ciudad de Panamá, es de tipo moderna, puesto que sus calles son auto-organizadas, pues tiene mayor intermediación de sus nodos (cruces de calles), sin embargo, si estas calles no tienen vías de acceso amplias, como avenidas de varios carriles podrían sufrir congestiónamiento del tráfico vehicular fácilmente. Por lo tanto, para confirmar es necesario realizar otras mediciones que aclaren este problema y poder tomar correctivos a tiempo, evitando la vulnerabilidad y contribuyendo a que una ciudad sea más resistente en el futuro.

Para extraer las redes urbanas de las ciudades grandes, intermedias o pequeñas existen las siguientes técnicas:

bounding box

```
G2 = ox.graph_from_bbox(north, south, east, west, network_type='drive')
```

Coordenada y radio

```
G2 = ox.graph_from_point((lat,lon), distance, network_type='all')
```

Nombre del lugar

```
G2 = ox.graph_from_place(lugar, network_type='drive', which_result = 2)
```

El siguiente análisis es realizar la medición de conectividad de Guayaquil, Quito y Panamá, los resultados se detallan en la Tabla 1.

Ciudades	Vértices (Nodes)	Bordes (Edges)	Conectividad
Guayaquil	36717	103531	2.82
Quito	24436	62855	2.57
Panamá	10081	22998	2.28

Tabla 1 – Estadística de conectividad utilizando técnicas de análisis de grafos con herramientas de Python, Networkx y OSMnx

Los datos indican en primer lugar, que según el número de nodos la ciudad de Guayaquil es la más extensa de las tres (vértices) y enlaces (edges), segundo, Guayaquil tiene mejor conectividad, por lo tanto, tiene mayor fluidez del tráfico, en cambio, Panamá es la ciudad que muestra un menor coeficiente de conectividad por lo que podría tener complicaciones de tráfico vehicular, movilidad y accesibilidad. Con estos resultados se pueden clasificar a las ciudades de mayor a menor robustez y resiliencia y determinar la ciudad que puede resistir mejor a los fenómenos sociales o naturales como, epidemias, pandemias, huelgas, inundaciones o deslaves, en el momento de querer rescatar a las víctimas (Wang, 2015).

Finalmente, el análisis completo de los indicadores propuestos se los realiza para la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se implementan los indicadores de morfología, centralidad de interconexión, cercanía, excentricidad y análisis de las rutas más cortas usando Waze y algoritmos de Dijkstra, los resultados consolidamos en la Figura 4.

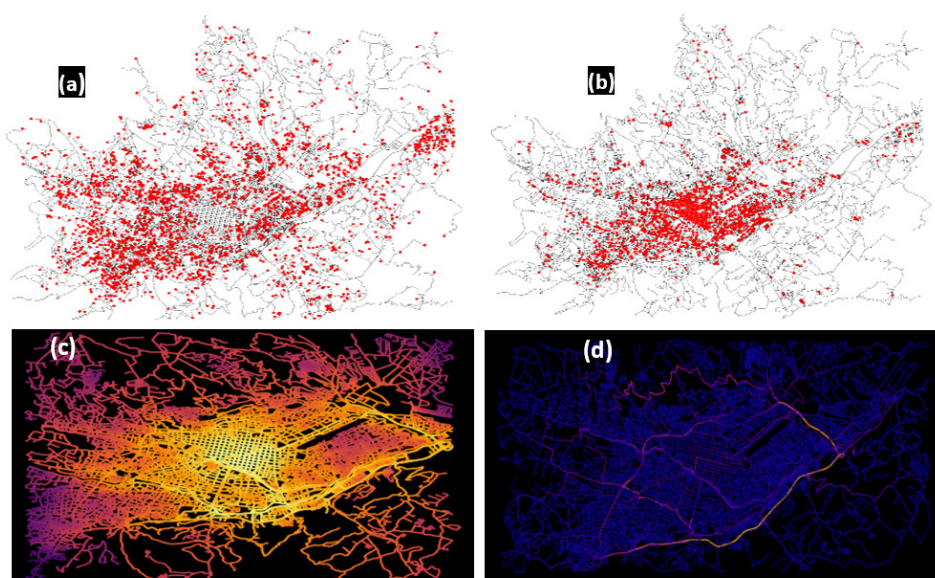


Figura 4 – Mediciones de indicadores para la ciudad de Cuenca, Ecuador

En la Figura 4. Literal (a) y (b) corresponden a las mediciones morfológicas, indican que Cuenca tiene un alto grado de estructura urbanística tipo Malla 13.79 % (grado 4) agrupado en el centro de la ciudad. En cambio, las características de auto organizado son de 21.73% de nodos sin salida (grado 1), los tiempos de cálculo 5.57 y 6.11 segundos respectivamente. Donde los nodos sin salida están ubicados en los nuevos asentamientos poblacionales de la zona norte de la red. El literal (c) muestran las mediciones de cercanía, donde los nodos de color intenso son los más significativos para conglomeraciones de instituciones de servicios por estar cercanas a toda la red. y en la Figura 4(d) se visualiza los resultados de la BC donde, las calles de color naranja tienen mayor intermediación,

con alta probabilidad de tener congestionamiento (Kazerani & Winter, 2020). El grafico 4(c) duro 51m 1s y el 4(b) duro 1h 52m 55s de tiempo.

A continuación, evaluamos el tipo de planificación urbana del sector norte de reciente crecimiento de la ciudad. Aquí, se puede apreciar que la red urbana tiene el 23.93% de callejones sin salida, ver Figura 5 (a), 65.53 % de callejones de 3 enlaces, ver Figura 4 (b) y las intersecciones de 4 es el 10.02 %. Tiempos de cálculo en segundos, 4.56, 3.43 y 3.96 respectivamente.

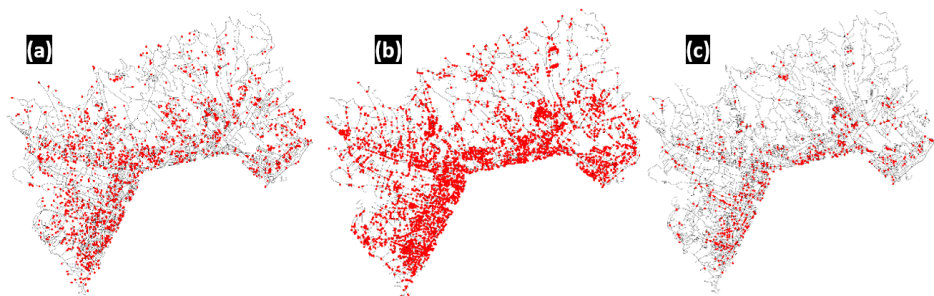


Figura 5 – Muestra el sector norte de Cuenca, (a) son los nodos de grado 1 23.81% y (b) los nodos de grado 4 10.09 %.

Por último, utilizando WazeRouteCalculator una librería disponible libremente en la web, que provee información del tráfico vehicular como tiempos y distancias de viaje, con la cual, evaluamos algunos indicadores (Barata, et al., 2014). Además, permite comprender la dinámica de la movilidad de una ciudad y los patrones de comportamiento urbano, calculando el tiempo de viaje en condiciones aproximadas a la realidad.

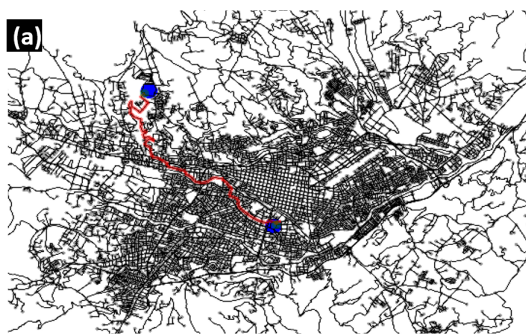


Figura 6 – Muestra la ruta corta de viaje entre los dos nodos de color azul

El siguiente código permite extraer, analizar y visualizar la ruta más corta, como se aprecia en la Figura 6 la ruta con la línea de color rojo y el origen y destino los nodos de color azul.

```

import networkx as nx
import numpy as np
import osmnx as ox
from sklearn.neighbors import KDTree
import folium
import matplotlib.pyplot as plt
print('Ruta: Estadio --> El Cebollar Cuenca *Sin Interrupcion')
ini1=ox.geocode(origen)
des1=ox.geocode(destino)
nodes, _ = ox.graph_to_gdfs(Gla)
nodes.head()
tree = KDTree(nodes[['y', 'x']], metric='euclidean')
ini_idx = tree.query([ini1], k=1, return_distance=False)[0]
dest_idx = tree.query([des1], k=1, return_distance=False)[0]
closest_node_to_ini = nodes.iloc[ini_idx].index.values[0]
closest_node_to_dest = nodes.iloc[dest_idx].index.values[0]
route = nx.shortest_path(Gla, closest_node_to_ini,
                        closest_node_to_dest)
length = nx.shortest_path_length(G=Gla, source=closest_node_to_ini,
target=closest_node_to_dest, weight='length')
print('Distancia>> ', round(length/1000,2))
fig, ax = ox.plot_graph_route(Gla, route, fig_height=16,
                             fig_width=14,
                             show=False, close=False,
                             edge_color='black',
                             orig_dest_node_color='green',
                             route_color='red')
ax.scatter(ini1[1], ini1[0], c='blue', s=300)
ax.scatter(des1[1], des1[0], c='blue', s=300)
fig.savefig("RCortaCuenca.tiff", dpi=400, format="tiff")
plt.show()

```

En la Tabla 2, se listan los tiempos de viaje desde la coordenada origen (estadio A. Aguilar) hasta otra de destino (Sector Cebollar) de la Figura 6.

Origen Lat, Lon	Destino Lat, Lon	Hora	Tiempo Lunes	Tiempo Viernes	Distancia, Km
-2.907060, 79.007466	2.889703, 78.984568	6:00	14.26	1.25	7.7 km
		7:00	15.44	15	
		8:00	16.32	16.05	
		9:00	16.12	15.58	
		10:00	15.53	15.21	
		11:00	14.50	15.06	
		12:00	15.21	15.30	
		13:00	15.13	15.32	

Origen Lat, Lon	Destino Lat, Lon	Hora	Tiempo Lunes	Tiempo Viernes	Distancia, Km
		14:00	15.35	15.25	
		15:00	15.28	15.03	
		16:00	15.17	15.20	
		17:00	15.40	16.05	
		18:00	16.00	16.55	
		19:00	17.20	18	
		20:00	16.02	16.33	

Tabla 2 – Mediciones de tiempos de viaje realizadas con la aplicación Waze

En este ejemplo, se calcula la ruta para viajar desde el redondel de la Av. Fray Vicente Solano (Sector el estadio) hasta el sector el Cebollar al norte de la ciudad, tiempo promedio 15.6 minutos, distancia 7.7 km, hora en que fue extraída la información entre las 6:00 a.m. y 20:00 p.m., los parámetros y resultados se detallan en la Tabla 2. En la Figura 7 se visualiza la comparación de estos cálculos tomados los días lunes y viernes por ser los extremos de una semana laborable.

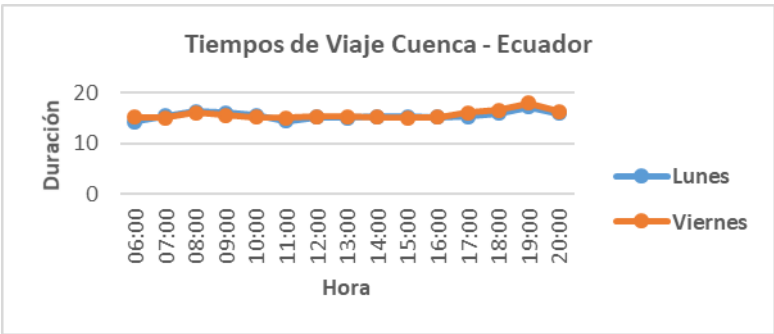


Figura 7 – Muestra la secuencia de los tiempos durante los días lunes y viernes

El código para el análisis se detalla a continuación:

```
import WazeRouteCalculator
import time
region = 'EU'
origen = '-2.905811, -79.005347'
destino = '-2.864922, -79.037105'
route = WazeRouteCalculator.WazeRouteCalculator(origen, destino, region, log_
lvl=None)
route_time, route_distance = route.calc_route_info()
```

```

h=int(route_time/60)
b = abs(route_time/60) - abs(int(route_time/60))
m=int(b*60)
print('R:Cuenca - Ecuador --> Coordenadas Origen: 'origen,' Destino: ', destino )
print('El tiempo estimado es: ', h, 'horas ', m, ' minutos')
print('La distancia estimada es: ', route_distance, 'Km')
archivo=open("Lista_Waze2.CSV","a")
archivo.write('R:Cuenca, Estadio - Cebollar')
archivo.write(",")
archivo.write(time.strftime("%H:%M:%S"))
archivo.write(",")
archivo.write(str(h))
archivo.write(",")
archivo.write(str(m))
archivo.write(",")
archivo.write(str(route_distance))
archivo.write(",")
archivo.write("\n")
print('Hora calculada>> ', time.strftime("%H:%M:%S"))

```

4. Conclusiones

Los modelos matemáticos aplicados ayudaron a evaluar el grado de resiliencia y vulnerabilidad de las redes urbanas para equilibrar, crecimiento poblacional, transporte y movilidad.

En escenarios caóticos que tiene que enfrentar un ecosistema urbano, estos análisis de datos masivos con grafos, es útil para detectar vulnerabilidades de tráfico vehicular, movilidad y accesibilidad de las grandes ciudades.

Los hallazgos encontrados permiten visualizar sectores de ciudades que están creciendo de forma desorganizada, por lo que se sugiere revisar la planificación urbana que equilibre las anomalías morfológicas detectadas y visualizadas en las Figuras 2, 3, 4(a), 4(b), 5(a), 5(b) y 5(c).

Luego de los análisis de diferente granularidad acerca del crecimiento de la ciudad de Cuenca, se detecta falencias en la planificación urbana por tener una tendencia auto organizada o desordenada. Posee un anillo vial reducido para cubrir la demanda del tráfico urbano donde los tiempos de viaje aumentan en las horas pico de la mañana 7 a 10 a.m. y la tarde de 5 a 8 pm. A pesar que las variaciones son pequeñas es suficiente para generar congestionamiento vehicular en las principales avenidas de la ciudad.

Con los resultados de este estudio se intenta contribuir con un método de análisis alternativo que proporciona información relevante a los tomadores de decisiones de planificación urbana en ciudades en crecimiento.

Referencias

- Agryzkov, T., Oliver, J. L., Tortosa, L., & Vicent, J. F. (2017). Different Types of Graphs to Model a City. *Transacciones WIT en Ciencias de la Ingeniería*, Vol. 118, doi:10.2495/CMEM170081.
- Al-Majhad, G. H., Bramantoro, A., Syamsuddin, I., Yuniata, A., Basori, H. A., Prabuwo, S. A., & Barukab, O. M. (2018). A Traffic Congestion Framework for Smart Riyadh City based on IoT Services. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(4).
- Barata, J., Ferro, R., & Ferreira, J. (2014). My Traffic Manager. *My Traffic Manager*, Volume 17.
- Batty, M. (2013). Resilient Cities, Networks, and Disruption. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(4), 571–573.
- Boeing, G. (2017). OSMnx: New Methods for Acquiring, Constructing, Analyzing, and Visualizing Complex Street Networks. *Computers, Environment and Urban Systems* 65, 126-139, doi:10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004.
- Boeing, G. (2018). *A Multi-Scale Analysis of 27,000 Urban Street Networks: Every US City, Town, Urbanized Area, and Zillow Neighborhood*. arXiv:1705.02198v4 [cs.SI] 2 Aug 2018.
- Curtiss, M. (2013). *Unicorn: A System for Searching the Social Graph*. Facebook, Inc. <http://www.vldb.org/pvldb/vol6/p1150-curtiss.pdf>
- Ji, S., & Yan, Z. (2017). *Refining Approximating Betweenness Centrality Based on Samplings*. arXiv: 1608.04472 [cs.SI].
- Kazerani, A., & Winter, S. (2020). Can Betweenness Centrality Explain Traffic Flow? *PEOPLE.ENG, Melbourne School of Engineering*.
- Krcnc, M., Sereni, J.-S., Skrekovski, R., & Yilma, Z. (2018). *Eccentricity of Networks with Structural Constraints*. HAL Id: hal-01385481, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01385481v2>.
- Masucci, A., & Molinero, C. (2016). Robustness and closeness centrality for self-organized and planned cities. *Eur. Phys. J. B*, 89(53).
- Sirmacek, B. (2018). *Graph Theory: Advanced Algorithms and Applications*. IntechOpen. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=_9CPDwAAQBAJ
- Wang, J. (2015). Resilience of Self-Organised and Top-Down Planned Cities—A Case Study on London and Beijing Street Networks. *PLoS ONE* 10(12): e0141736. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141736>.
- Zhang, W., Wang, S., Tian, X., Yu, D., & Yang, Z. (2017). The backbone of urban street networks: Degree distribution and connectivity characteristics. *Advances in Mechanical Engineering*, <https://doi.org/10.1177/1687814017742570>.

Sistema ciber-físico en la nube para monitoreo de contaminación acústica urbana bajo plataforma IoT

Renzo M. Murata Arca¹, Félix M. Santos López², Jhon M. Portella Delgado²

renzo.murata@pucp.pe; fsantos@pucp.edu.pe; jportella@pucp.pe

¹ Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801 San Miguel, Lima 32, Lima - Perú.

² Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801 San Miguel, Lima 32, Lima - Perú.

Pages: 91–103

Resumen: El presente trabajo expone el diseño de un sistema ciberfísico de monitoreo acústico que podrá ser implementado en la ciudad de Lima y tendrá la función de informar y advertir a los usuarios cuando los niveles de ruido puedan afectar a la salud de los peatones. El trabajo abarca el diseño del sistema físico que consta de Nodos Sensores y Gateways; el diseño de una arquitectura de software que permita la recolección, análisis y muestra de datos; asegurar la escalabilidad del sistema; y finalmente el desarrollo de un prototipo para comprobar la conexión entre los sistemas físico y ciber y la correcta lectura de datos del sensor de sonido seleccionado.

Palabras-clave: Contaminación acústica; Ciberfísico; IoT; LoRaWAN; AWS

Cyber-physical cloud system for monitoring urban noise pollution under IoT platform

Abstract: The following paper presents the design of a cyber-physical acoustic monitoring system that can be implemented in the city of Lima and will have the function of warning users when noise reaches dangerous levels. The work covers the design of the physical system, which consists of Sensor Nodes and Gateways. It also covers the design of a software architecture that allows the collection, analysis and sample of data to assure the scalability of the system. Finally, this paper presents the development of a prototype to check the connection between the physical and cyber systems and the correct reading of data from the selected sound sensor.

Keywords: Noise pollution, Cyber-physical, IoT, LoRaWAN, AWS

1. Introducción

Actualmente, la contaminación sonora urbana es uno de los principales problemas que afecta a la población de las grandes ciudades. Una prolongada exposición al ruido, dependiendo de su intensidad, puede producir vértigo, estrés, subida de presión,

insomnio, pérdida parcial o total de la audición y dificultad para hablar (OEFA, 2016; Fielder & Zannin, 2015). Según el análisis de contaminación sonora llevado a cabo por (Albert & Decato, 2017) en zonas rurales y urbanas, los niveles de contaminación en zonas urbanas suelen ser 20 dB superior al de las zonas rurales. La gravedad de los daños a la salud aumenta mientras mayor sean los decibeles registrados; una persona realizando actividades rutinarias no debería estar expuesta a más de 70 decibels y se recomienda usar tapones u orejeras cuando se superan los 85 decibeles.

El estado peruano ha desarrollado procedimientos para el correcto sensado de los niveles acústicos de una zona. Sin embargo, estos trabajos requieren la presencia de trabajadores y el uso de equipos especiales que deben ser colocados de forma temporal en determinadas zonas de la ciudad. Estos estudios son realizados de forma poco frecuente por lo que a medida que haya pasado mayor tiempo entre un sensado y otro los resultados presentarán un mayor nivel de error (MINAM, 2013).

Como posible solución a este problema, en el presente trabajo se desarrollan los detalles más importantes del diseño e implementación de un prototipo de sistema de monitoreo IoT, que abarca tanto la parte física como la arquitectura ciber.

2. Marco Teórico

2.1. Medición del ruido

El ruido es una manifestación de las energías liberadas en distintas actividades que puede afectar el estado físico y mental de las personas, principalmente dañando su capacidad auditiva. Para medir un ruido se debe considerar principalmente su intensidad, la cual mide la cantidad de energía empleada para generarlo, esta se mide en decibelios (dB) y es la magnitud más importante en lo que se refiere a contaminación acústica. (Alonso, 2003).

Nivel de presión sonora (SPL): En la acústica, el nivel de presión sonora (también conocido como amplitud de onda), es la diferencia entre la presión mínima audible y la presión instantánea que generan las ondas sonoras, se expresa en decibelios (Ridao, 2009). El decibelio (dB) es la décima parte de un belio y es una unidad logarítmica, matemáticamente escalar y adimensional (Hidalgo, 2012). La siguiente ecuación muestra el cálculo del nivel de presión sonora:

$$L_p = 20 \log(P/P_0) \text{ dB}, \quad (1)$$

donde L_p es el nivel de presión sonora, P es la presión instantánea y P_0 es la presión de referencia.

Esta medida es utilizada por los sonómetros para determinar los niveles de contaminación acústica ya que, a una distancia suficiente de la fuente de ruido, el cuadrado de esta medida es proporcional a la intensidad del sonido

Ponderación acústica: Si bien el oído humano tiene la capacidad de percibir sonidos entre 20 Hz y 20kHz, este no posee la misma sensibilidad para todo el rango de frecuencias. Debido a eso, considerando la sensibilidad en función de la frecuencia que capta el oído humano, se han establecido distintas curvas de ponderación. Las 3 principales curvas de ponderación que se utilizan para el análisis acústico son la A, B y C. Estas curvas tratan de replicar la respuesta del oído humano en frecuencia a distintos niveles de presión sonora, siendo la ponderación A la más baja y la ponderación C la más alta (Ridao, 2009).

2.2. Internet de las cosas (IoT)

Internet de las Cosas (IoT) consiste en la interrelación inteligente de personas, procesos, datos y objetos, lo que genera que las conexiones de red hallan ganado una gran importancia y relevancia en estos tiempos. Esto se produce mediante la transformación de la información en procesos que crean mejores experiencias, nuevas funcionalidades y oportunidades económicas nunca antes vistas para personas, empresas y países (Cisco Website, 2020).

2.2.1. Tipos de redes IoT

Short Range Wireless Networks: Este tipo de comunicación de corto alcance requiere del despliegue de repetidores para hacerlos viables en estructuras actuales. Si bien han sido claves para el éxito inicial de IoT, su efectividad se ve bastante reducida cuando se realizan despliegues amplios de sensores. En esta categoría se encuentran tecnologías como ZigBee, Z-Wave, Bluetooth, Wifi, etc (IoT Factory, 2020; Cendón, 2017).

M2M (Machine to Machine): En la actualidad, cuando se requiere conocer la ubicación, el estado o directamente realizar interacción entre 2 dispositivos de forma global con cobertura geográfica nacional o incluso internacional la solución global es el uso de tarjetas Sim y redes GPRS/3G de operadores telefónicos locales. El problema con este tipo de red es su alto consumo energético, la necesidad de un pago mensual por suscripción y el alto costo de los equipos (IoT Factory, 2020).

LPWAN (Low Power Wide Area Networks): Este tipo de red nativa de IoT se ha popularizado bastante desde su lanzamiento por parte de la empresa SigFox en el 2012. Se caracteriza por su muy bajo consumo energético, su largo alcance y bajo costo de dispositivos. Actualmente existen 2 tecnologías que utilizan este sistema SigFox y LoRaWAN (IoT Factory, 2020; Cendón, 2017).

3. Diseño del sistema físico

3.1. Selección de red IoT

Para iniciar con el diseño del sistema se definió el tipo de red IoT a utilizar ya que cada una tiene características particulares que acotan el diseño de la solución final tanto en la parte física como en la ciber.

El sistema diseñado tiene las siguientes características:

- Los sensores deben ser capaces de operar en zonas donde no haya una red Wifi de internet.
- El rango de cobertura de la red debe ser amplio ya que se planea colocar los dispositivos en distintos puntos de la ciudad de Lima los cuales deben ser capaces de transmitir la data a una misma base de datos.
- El consumo energético debe ser bajo ya que estos dispositivos estarán operando de manera continua.
- Los dispositivos deben ser de bajo costo ya que este sistema servirá de referencia a los departamentos estatales encargados del control de la contaminación acústica para que puedan realizar estudios especializados de forma más eficiente.

Basándonos en el análisis comparativo de las 3 principales redes IoT se ha optado por una red LPWAN (específicamente la tecnología LoRaWAN), ya que entre esta y SigFox solo Lora posee una cobertura que le permite ser utilizada en el Perú. Adicionalmente, un análisis realizado sobre redes de sensores LoRaWan demostró que este tipo de red logra cobertura hasta en zonas donde normalmente no llegan las redes 4G como lo son túneles o zonas donde las estructuras dificultan la llegada de estas redes (Wixted, Kinnaird, Larijani, Ahmadinia, & Strachan, 2016).

3.2. Topología LoRaWAN

LoRaWAN implementa una topología estrella-estrella, en la cual se utilizan varios Gateways para retransmitir los datos enviados por radiofrecuencia a un servidor principal por medio de internet. Los nodos de esta red no están conectados a un solo puerto, sino que la información enviada por un nodo es recibida por diferentes Gateways a la vez. Cada uno de estos Gateways reenviará la data desde el nodo hasta el servidor principal el cual normalmente estará en la nube.

La parte más compleja del proceso se ubica en el servidor de la red, ya que este se encarga de filtrar los elementos duplicados recibidos por varios Gateway, realizar funciones de seguridad, y la administración de la red (Perez, 2018). Cabe mencionar que para este proyecto se utilizara de servidor The Things Network (TTN), el cual es una red LoraWAN gratuita de código abierto.

3.3. Selección de componentes electrónicos

Tras un análisis comparativo de distintos hardware del mercado y tomando en cuenta características como consumo energético, costo, rendimiento y compatibilidad se seleccionaron los componentes mostrados en las tablas 1 y 2 con los que se espera conseguir una precisión de sensado de ruido de al menos + 5db.

3.3.1. Nodo Sensor

Componente	Modelo	Precio
Controlador	Arduino Nano	\$6.67
Sensor de sonido*	SEN-12642	\$10.95

Componente	Modelo	Precio
<i>Sensor de lluvia</i>	FC-37	\$1.99
<i>Sensor de corriente</i>	ACS712-05	\$1.06
<i>Buzzer</i>	Groove Buzzer	\$2.07
<i>Transceptor Lora</i>	RFM95W-915S2	\$13.84
<i>Sistema UPS</i>	DD05CVSB_5V / DD05CVSA	\$5.07
<i>Fuente de alimentación</i>	PSK-S6C-5-T	\$17.11
<i>Batería</i>	Ion de litio 3.7V 1200mAh	\$1.60

Tabla 1 – Componentes electrónicos Nodo Sensor

3.3.2. Gateway

Componente	Modelo	Precio
<i>Controlador</i>	Raspberry Pi 3 Model b+	\$35
<i>Transceptor Lora</i>	RAK2245	\$120
<i>Sistema UPS</i>	DD05CVSB_5V / DD05CVSA	\$5.07
<i>Fuente de alimentación</i>	PSK-S10C-5-T	\$17.11
<i>Batería</i>	Ion de litio 3.7V 6000mAh	\$12.00

Tabla 2 – Componentes electrónicos Gateway

3.4. Selección de componentes mecánicos

Para la selección de los componentes mecánicos mostrados en las tablas 3 y 4 se evaluaron las dimensiones y grados de protección (al menos IP65) que requieren los componentes electrónicos seleccionados para operar en la intemperie.

3.4.1. Nodo Sensor

Componente	Modelo	Precio
<i>Caja de protección</i>	Rittal EB 1546.500	\$37.72
<i>Accesorio de Sujeción</i>	Rittal SZ 2584.000	\$37.63

Tabla 3 – Componentes mecánicos Nodo Sensor

3.4.2. Gateway

Componente	Modelo	Precio
<i>Caja de protección</i>	Rittal PK 9517.100	\$30.86
<i>Accesorio de Sujeción</i>	Rittal PK 9583.000	\$4.88

Tabla 4 – Componentes mecánicos Gateway

3.5. Diagramas de conexiones

En la figura 1 se muestran los diagramas de conexiones tanto del Gateway como del Nodo Sensor. Estos diagramas muestran detalladamente todas las conexiones del sistema. Sin embargo, para facilitar el montaje se han diseñado 2 PCBs que ya cuenten con la mayoría de las conexiones mostradas y solo se deberán conectar los componentes a través de conectores para PCB tipo hembra. En la figura 2 se muestran modelos 3D de la distribución de los componentes con las PCBs diseñadas.

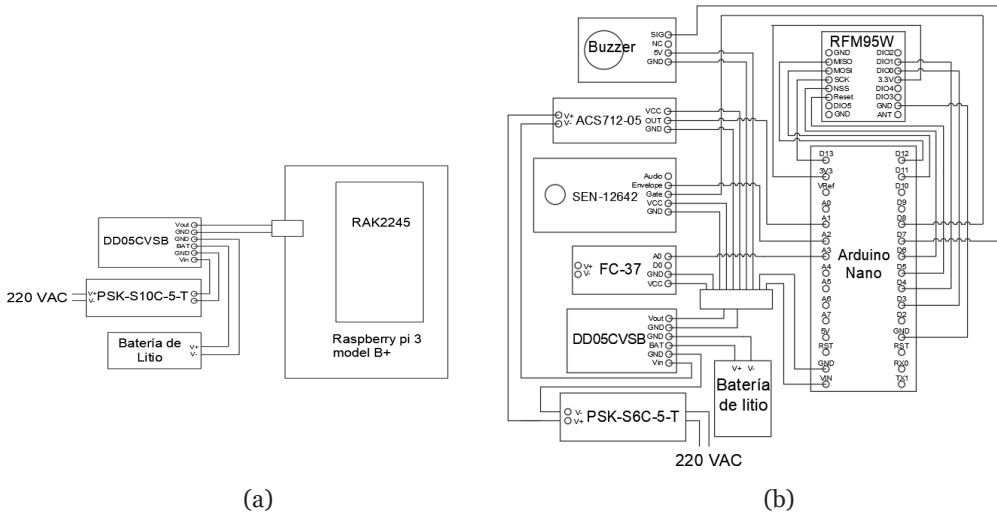


Figura 1 – (a) Diagrama de conexiones Gateway, (b) Diagrama de conexiones Nodo Sensor

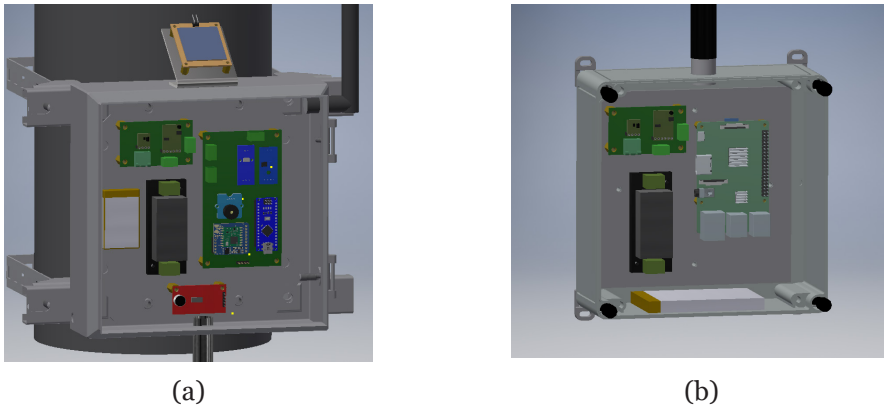


Figura 2 – (a) Modelo 3D Nodo Sensor, (b) Modelo 3D Gateway

3.6. Diagrama de flujo general

En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo general del controlador del nodo sensor, en este se puede apreciar de forma resumida el proceso de verificación y obtención de datos para finalmente enviar solo la información necesaria al sistema ciber, minimizando el consumo de energía y el flujo de datos. No se verá un diagrama de flujo de los Gateway ya que serán considerados parte del sistema ciber. Estos siguen una programación preestablecida por el servidor TTN.

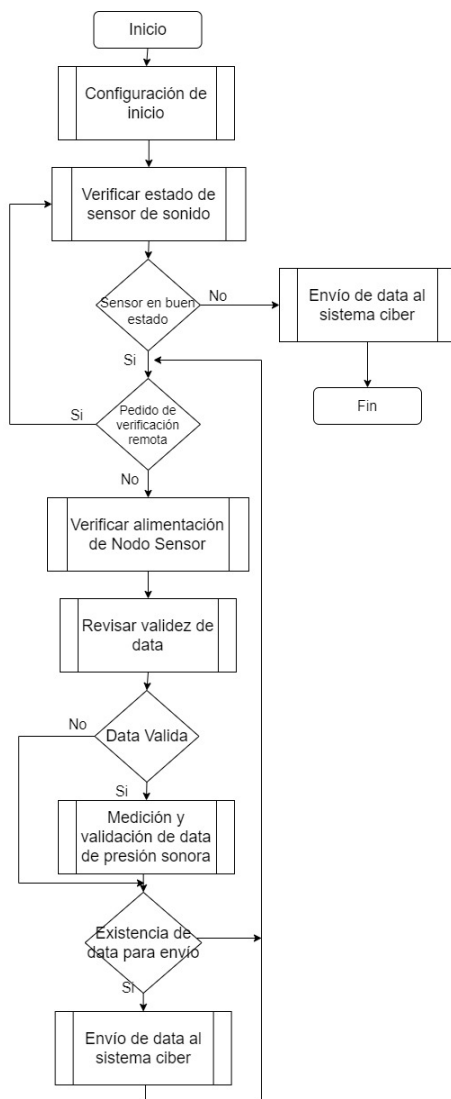


Figura 3 – Diagrama de flujo general

4. Diseño de arquitectura del sistema ciber

Para el diseño de la arquitectura se aplicó el método Attribute-Driven Design, el cual es un proceso iterativo de siete pasos para el diseño de arquitecturas de software (Kazman & Cervantes, 2015; Wojcik, Bachmann, Bass, Clements, Merson, Nord & Wood, 2006). En esta sección se muestra el diseño final tras el desarrollo del método.

4.1. Arquitectura propuesta

Tras el uso del método ADD para el desarrollo de arquitecturas de software se obtuvo el gráfico de 6 capas mostrado en la figura 4, en este se utiliza AWS como servicio Cloud para recolectar, analizar y procesar la data obtenida del sistema.

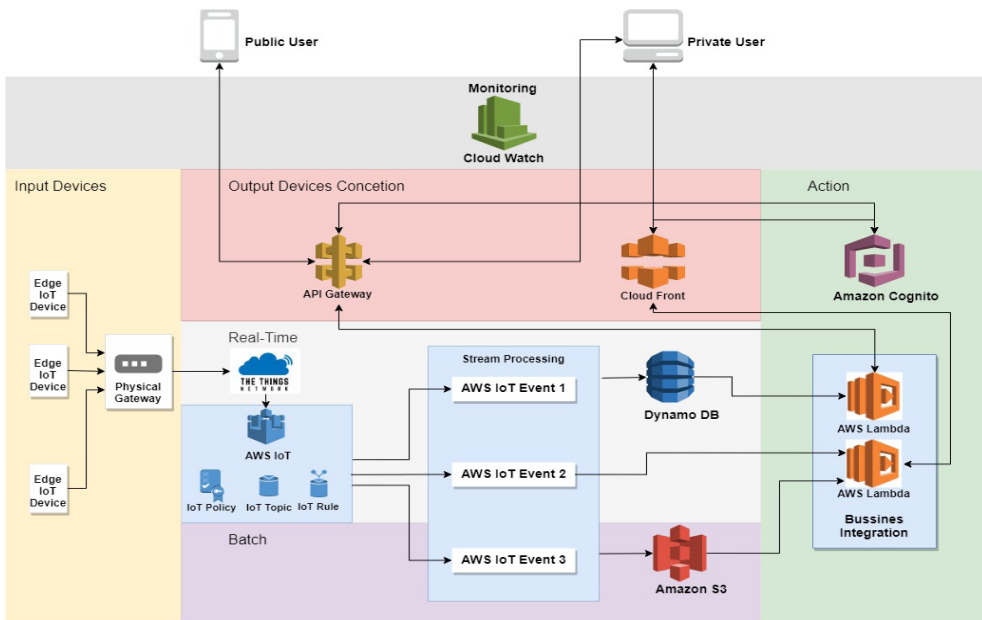


Figura 4 – Arquitectura final

Capa Input devices: representa el sistema físico (Nodos Sensores como Gateways), donde toda la data obtenida de los sensores es recolectada por los Gateways y son enviadas al servidor TTN.

Capa Real – Time: Incluye el envío de la data recolectada en el servidor TTN hacia AWS IoT. Si es un nivel de presión sonora, se envía a la base de datos no relacional Dynamo DB para su análisis y muestra en tiempo real y también se envía a la capa Batch. Si la data fuese una alarma sobre algún tipo de falla con los sensores pasaría directamente a la capa de acción.

Capa Batch: En esta capa se almacenará en Amazon S3 toda la data de niveles de presión sonora recolectada por los sensores para un análisis más complejo.

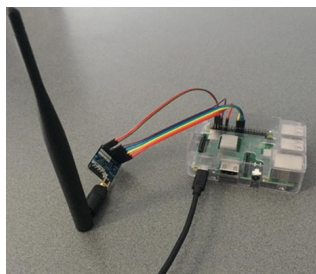
Capa Ouput devices conexions: Tiene 2 subgrupos: Bussines Integration que a través de AWS Lambda tomará acciones sobre la data recolectada y User Management donde Amazon Cognito controlará los tipos de accesos de los usuarios diferenciando el usuario común y el administrador

Capa Monitoring: En esta capa se encuentra el servicio de CloudWatch de Amazon el cual permite monitorear y administrar todos los servicios de la nube para tener un buen control del rendimiento del sistema.

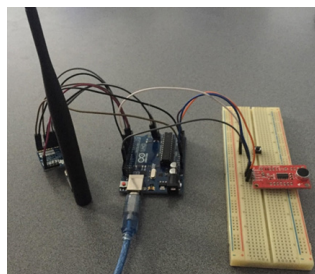
5. Prototipo y pruebas del sistema

Las pruebas de alcance y funcionamiento del sistema estuvieron basadas en la elaboración de prototipos del Gateway y del Nodo Sensor. El Gateway como se ve en la figura 5a, está compuesto por un Raspberry Pi 3 Model B+ y en lugar del RAK2245 se utilizó un transceptor LoRa simple (el mismo utilizado en el nodo sensor). Este Gateway es de un solo canal lo cual limita bastante su capacidad de recibir información de múltiples nodos de manera simultánea, pero cumple su función como dispositivo de prueba.

El prototipo del nodo sensor, como que se ve en la figura 5b, solo cuenta con el sensor de sonido para la prueba del mismo, el transceptor LoRa y un pulsador que servirá para las pruebas de conexión del dispositivo por radiofrecuencia.



(a)



(b)

Figura 5 – (a) Prototipo Gateway, (b) Prototipo Nodo Sensor

5.1. Programación del Gateway

Para la programación se utilizó de referencia la guía virtual elaborada por Chris Samuelson (Samuelson, 2017) y se editó para cumplir con las características requeridas por el sistema. En la figura 6, se aprecia el programa principal al cual se le configuraron los pines de la Raspberry Pi, ubicación, el servidor web y la frecuencia de transmisión y recepción. Luego de esto se registró el Gateway en el servidor TTN

```

// SX1272 - Raspberry connections
int ssPin = 6;
int dio0 = 7;
int RST = 0;

// Set spreading factor (SF7 - SF12)
sf_t sf = SF7;

// Set center frequency
uint32_t freq = 905500000; // in Mhz! (905.5)

// Set location
float lat=12.15001112;
float lon=76.98916870;
int alt=60;

/* Informal status fields */
static char platform[24] = "Single Channel Gateway"; /* platform definition */
static char email[40] = ""; /* used for contact email */
static char description[64] = ""; /* used for free form description */

// define servers
// TODO: use host names and dns
#define SERVER1 "13.66.213.36" // The Things Network: croft.thethings.girovito.nl
#define PORT 1700 // The port on which to send data

```

Figura 6 – Programa principal Gateway

5.2. Programación del Nodo Sensor

Antes de empezar la programación del Arduino se registró la aplicación que conecta los nodos a la red TTN, se le definió un ID y un servidor el cual es el mismo que nuestro Gateway. Una vez creada, se agregó un dispositivo al cual se le definió un ID y un EUI (código de 8 bytes que identificará el dispositivo). En el método de activación se seleccionó ABP (Activation by personalisation), con este método la data enviada por los sensores contendrá claves de identificación para poder ser recibidas por la red de forma segura.

Una vez completado el registro y habiendo copiado los códigos para el ABP se pasó a programar el Arduino y para ello se hizo uso de la librería “MCCI LoRaWAN LMIC”. Esta librería es una adaptación para Arduino de la librería LMIC (LoRaWAN-MAC-in-C) de IBM la cual permite utilizar dispositivos LoRa y conectarlos a la red TTN. Para este prototipo se utilizó de base uno de los Sketch de ejemplo de esta librería, pero adaptado a las funciones de nuestro sistema. En la figura 7 se muestra el código que utiliza la comunicación por ABP, aquí se puede apreciar que es necesario colocar las 3 claves de acceso durante la configuración, esto permitirá que toda la información transmitida por el sensor sea recibida por la red y enviada a la aplicación creada para su uso.

```

// LoRaWAN NwkSKey, network session key
// This should be in big-endian (aka msb).
static const PROGMEM u1_t NWKSKEY[16] = { 0xCD, 0x26, 0x57, 0x3C, 0xF8, 0xB3, 0xD2,

// LoRaWAN AppSKey, application session key
// This should also be in big-endian (aka msb).
static const u1_t PROGMEM APPSKEY[16] = { 0xEB, 0xC8, 0x63, 0xA5, 0x59, 0xC5, 0x66,

// LoRaWAN end-device address (DevAddr)
// See http://thethingsnetwork.org/wiki/AddressSpace
// The library converts the address to network byte order as needed, so this should
static const u4_t DEVADDR = 0x260211CD ; // <-- Change this address for every node!

```

Figura 7 – Código inicial Nodo Sensor

5.3. Pruebas de conectividad del sistema

Con los prototipos armados se pasó a probar la conexión con la web; para esta primera prueba se simplificó el código para enviar el valor de 75.23 decibeles cada vez que se presione el pulsador en el prototipo del nodo sensor. En la figura 8 se ve que la data llega al servidor TTN, para esto el Nodo Sensor envió por radiofrecuencia la data, esta fue recibida por el Gateway y retransmitida por wifi hacia el servidor.

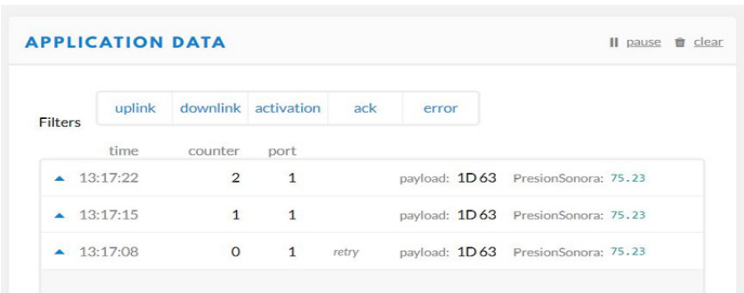


Figura 8 – Data recibida por la aplicación en TTN

5.4. Pruebas del sensor de sonido

Para la prueba del sensor se utilizó un sonómetro con calibración vigente de la marca Hangzhou modelo AWA5661, este es un sonómetro clase 1 que cumple con la normativa internacional para sonómetros IEC61672 y es utilizado para mediciones de contaminación acústica industrial y urbana. Primero fue necesario calibrar el sensor del prototipo aplicando un factor al código de Arduino para que iguale su medición con la del sonómetro profesional.

El resultado de la calibración fue un factor de 2.87 para igualar ambas medidas a 80dB. Con este factor se hicieron las pruebas mostradas en la tabla 5 para mediciones de 65, 70, 75 y 85 dB con la finalidad comprobar si ambas medidas obtienen valores similares.

# de medición	Medición 1 (65.4dB)	Medición 2 (70.7dB)	Medición 3 (75.4dB)	Medición 4 (85.1dB)
1	63.14	71.75	74.62	83.23
2	66.01	68.88	77.49	83.23
3	66.01	74.72	80.92	86.10
4	60.27	66.01	80.92	86.10
5	66.01	68.88	74.62	88.97
6	63.14	71.75	71.75	86.10
7	68.88	66.01	74.62	88.97
8	63.14	71.75	77.49	86.10
9	63.14	71.75	74.62	86.10
10	63.14	68.88	77.49	86.10
11	66.01	68.88	74.62	83.23

# de medición	Medición 1 (65.4dB)	Medición 2 (70.7dB)	Medición 3 (75.4dB)	Medición 4 (85.1dB)
12	63.14	74.72	71.75	83.23
13	66.01	71.75	74.62	88.97
14	68.88	68.88	74.62	86.10
15	63.14	66.01	74.62	88.97
16	60.27	71.75	74.62	88.97
17	63.14	71.75	71.75	86.10
18	60.27	74.72	83.23	86.10
19	66.01	71.75	74.62	86.10
20	60.27	68.88	77.49	88.97
Ponderado A	64.78	71.25	77.06	86.83

Tabla 5 – Pruebas del sensor de sonido calibrado

Como se aprecia en la tabla, la exactitud de la medición es + 2dB. Estos resultados son esperados ya que se utiliza un sensor de bajo costo el cual no posee la precisión para captar toda la gama de decibeles; además, el uso del factor de conversión genera que el error también se amplifique lo cual no permite medidas muy certeras. El error obtenido, sin embargo, cumple con las exigencias planteadas en el sistema y si bien no logra la precisión de un sonómetro profesional, permite identificar cuando hay presencia de contaminación sonora.

6. Conclusiones

Se logró diseñar un sistema de monitoreo de contaminación acústica urbana que funciona con radiofrecuencia y bajo una plataforma IoT. Este dispositivo utiliza la tecnología de radiofrecuencia LoRa, la cual sustituye la comunicación directa a internet comúnmente utilizada en este tipo de aplicaciones. Gracias a esto, se presenta una solución novedosa de bajo consumo energético y computacional capaz de cubrir grandes zonas de la ciudad y enviar la data a una plataforma Cloud sin necesidad de depender de redes WIFI, la cual podrá ser implementada con el objetivo de monitorear y controlar este tipo de contaminación de forma más eficaz.

Según los cálculos realizados y basándonos en los requerimientos y especificaciones técnicas planteadas, los dispositivos de monitoreo son capaces de funcionar de forma continua a pesar de cortes temporales de energía o condiciones climáticas desfavorables gracias a la batería de respaldo y los sensores de lluvia y corriente instalados. Además, la instalación y mantenimiento de los mismos es bastante sencilla gracias al uso de las PCBs, lo cual permite una rápida escalabilidad.

Se logró implementar un prototipo del sistema con el que se probó la conectividad entre dispositivos, la capacidad del nodo sensor para capturar y procesar datos de contaminación sonora y la transmisión de los mismos hacia un servidor Cloud. Además, se realizó una comparación de las mediciones con un sonómetro profesional y el

prototipo donde, tras una calibración, se obtuvieron valores que, si bien no logran la precisión del primero, cumplen con los requerimientos del proyecto.

Referencias

- Albert, D. G., & Decato, S. N. (2017). Acoustic and seismic ambient noise measurements in urban and rural areas. *Applied Acoustics - Elsevier*, 119, 135-143.
- Alonso, A. d. (2003). Contaminación acústica y salud. Madrid, España: Observatorio medioambiental.
- Cendón, B. (2017). *Las Redes Más Usadas En El IoT*. Retrieved from: <http://www.bcendon.com/las-redes-mas-usadas-en-el-iot/>
- Cisco Website. (2020). *Cisco internet of things*. Retrieved from: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>
- Fielder, P. E., & Zannin, P. H. (2015). Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements. *Environmental Impact Assessment Review - Elsevier*, 51, 1-9.
- Hidalgo, A. (2012). *¿Qué es el decibelio acústico?* Retrieved from: <http://www.cecorsl.com/2012/11/16/que-es-el-decibelio-acustico/>
- IoT Factory. (2020). *Overview of IOT Networks*. Retrieved from: <http://iotfactory.eu/iot-knowledge-center/overview-of-iot-networks/>
- Kazman, R., & Cervantes, H. (2015). *ADD 3.0: Rethinking Drivers and Decisions in the Design Process*. SATURN. Retrieved from: https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/Presentation/2015_017_101_438648.pdf
- MINAM. (2013). *Protocolo Nacional de Monitoreo de Ruido Ambiental*. Lima. Retrieved from: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-227-2013-minam/>
- OEFA. (2016). La contaminación sonora en Lima y Callao. Lima: Oficina de Comunicaciones y Atención al Ciudadano.
- Perez, E. (2018). *Medium LoRaWAN*. Retrieved from: <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/lorawan-doof48384160>
- Ridao, Á. F. (2009). *Medidas De Ruido*. Granada, España. Retrieved from: https://www.ugr.es/~ramosr/CAMINOS/conceptos_ruido.pdf
- Samuelson, C. (2017). *Hackster.io*. Retrieved from: <https://www.hackster.io/ChrisSamuelson/lora-raspberry-pi-single-channel-gateway-cheap-d57d36>
- Wixted, A. J., Kinnaird, P., Larijani, H. T., Ahmadinia, A., & Strachan, N. (2016). Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks. *IEEE Sensors*, 1-13.
- Wojcik, R., Bachmann, F., Bass, L., Clements, P., Merson, P., Nord, R., & Wood, B. (2006). Attribute-driven design (ADD), version 2.0. Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Software Engineering Inst.

Desarrollo de un software para la medición financiera en proyectos de emprendimiento

Edwin Andrés Jiménez Echeverri, David Esteban Rodríguez Guevara,
Sergio Andrés Sierra Luján, Cesar Augusto Rodríguez Ledesma

edwinjimenez@itm.edu.co; davidrodriguez@itm.edu.co; sergiosierra4286@correo.itm.edu.co;
cesarrodriguez@itm.edu.co

Grupo de investigación: Ciencias Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia.

Pages: 104–115

Resumen: El software mejora los mecanismos de análisis y medición financiera para los proyectos de emprendimiento apoyados por el Centro de Emprendimiento – Proyecto Transferencia, Innovación y Desarrollo de Conocimiento – CTIC del Instituto Tecnológico Metropolitano; además, evita cuatro defectos metodológicos encontrados en la enseñanza y evaluación financiera de proyectos y sirve de guía a quienes analizan las cifras al automatizar la lectura de indicadores por medio de un algoritmo que realiza la interpretación para resultados con valores positivos y negativos, identifica la tendencia primaria del indicador y el periodo en el cual se presentan cambios de signo. Adicionalmente, el manual de usuario se prepara como una guía para la evaluación financiera de proyectos y la base de datos de los proyectos evaluados servirá para futuras investigaciones sobre la cultura emprendedora de los estudiantes y el impacto asociado a la implementación del software.

Palabras-clave: Evaluación de proyectos; proyecciones financieras; software financiero; emprendimientos.

Development of software for financial measurement in entrepreneurship projects

Abstract: The software improves the financial analysis and measurement mechanisms for entrepreneurship projects supported by the Entrepreneurship Center - Knowledge Transfer, Innovation and Development Project - CTIC of the Metropolitan Technological Institute, avoids four methodological flaws found in the teaching and financial evaluation of projects and it serves as a guide for those who analyze the figures by automating the reading of indicators by means of an algorithm that performs the interpretation for results with positive and negative values, identifies the primary trend of the indicator and the period in which sign changes occur. Additionally, the user manual is prepared as a guide for the financial evaluation of projects and the database of the evaluated projects will serve for future research on the entrepreneurial culture of the students and the impact associated with the implementation of the software.

Keywords: Project evaluation; financial forecast; financial software; entrepreneurship.

1. Introducción

La puesta en marcha de los emprendimientos debe enfrentar continuos retos como responder a los continuos cambios en la tecnología, exigencias en la competitividad y obtener la debida financiación para la adquisición de activos fijos y capital de trabajo, bajo la embargo, algunos enfrentan el fracaso financiero a raíz de la inadecuada planeación en la forma de afrontar dichos retos; es por esto que, surge la necesidad de contar con una herramienta que apoye el análisis de los proyectos de emprendimiento y permita una previsión adecuada de las inversiones, capital de trabajo y los costos asociados (Meza, 2018).

Como respuesta a la problemática planteada, Tooptompong & Piromsopa, (2018) establecen que los sistemas de información son clave para el éxito de las pequeñas y medianas empresas en el desarrollo del negocio pero las PYME tienen dificultades para utilizar sistemas de información de clase empresarial debido a las diferentes estructuras de trabajo y los recursos limitados, en general tienen una alfabetización digital limitada lo cual se convierte en un obstáculo para el cálculo de indicadores financieros de manera sistematizada.

Por otra parte, es importante reconocer que: “La participación de las áreas de TI ha sido importante para incorporar estas herramientas en las aplicaciones de gestión de proyectos (...) y la adopción de estas ha sido ampliamente estudiada para encontrar fundamentos teóricos, factores, roles y estructuras organizacionales”(Aguilera, Villalobos y Dávila, 2018), así mismo, “Las organizaciones han estimado como inversión prioritaria acceder a las (TIC), con el principal propósito de obtener información confiable y oportuna que les permita establecer un direccionamiento adecuado con el contexto innovador y competitivo del siglo XXI” (Erazo, Castro y Achicanoy, 2016, p. 1). Por lo tanto, es clara la necesidad de los emprendedores de contar con conocimientos financieros y con herramientas digitales para la toma de decisiones, a partir del cálculo de acertadas proyecciones e indicadores financieros, con el fin de trabajar en la búsqueda de la supervivencia y crecimiento económico.

En consecuencia, se desarrolló una herramienta de medición financiera que apoya la toma de decisiones de los innovadores, encaminada a cubrir sus vacíos de conocimiento financiero. Dicha herramienta fue nombrada por sus desarrolladores y autores del presente artículo Sistema de Evaluación Financiera (SEF ITM). La información financiera, procesada en el SEF ITM, busca facilitar la interpretación de los resultados de los emprendedores, permitiendo una lectura clara y suficiente del desempeño de los emprendimientos, midiendo el posible cumplimiento de sus objetivos y brindándole la posibilidad de construir escenarios que sirvan de apoyo para tomar decisiones dirigidas al mejoramiento.

En el marco de las ideas el software fue desarrollado buscando dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se pueden mejorar los mecanismos de medición financiera para los proyectos de emprendimiento apoyados por el CTIC en el Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM)?, esto llevó a plantear el objetivo general mejorar los mecanismos de análisis y medición financiera para los proyectos de emprendimiento apoyados por el Centro de Emprendimiento del ITM. Finalmente, el desarrollo realizado tuvo como direccionadores los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar de la estructura requerida para automatizar la medición y análisis de la información financiera generada por los diferentes proyectos de emprendedores que recibe el CTIC.
2. Analizar de los resultados obtenidos a partir de los datos suministrados por los emprendedores en distintos escenarios garantizando la funcionalidad en la mejora de los mecanismos de análisis y medición financiera.
3. Crear de un instructivo que le permite a los emprendedores y asesores de emprendimiento del CTIC la interpretación de resultados y el manejo de la herramienta de mejora.

De acuerdo con lo anterior, en el presente artículo, se abordan al inicio las razones que sustentan el problema encontrado y se plantean los objetivos que conducen a desarrollar un mecanismo de medición financiera para proyectos de emprendimiento; asimismo la justificación del desarrollo se encuentra fundamentada en la necesidad de contar con herramientas digitales para la toma de decisiones con el fin de trabajar en la búsqueda de la supervivencia y crecimiento económico. Por otra parte, la perspectiva teórica se encuentra asociada a conceptos de evaluación financiera y finanzas corporativas, mientras la perspectiva metodológica describe las etapas necesarias para un desarrollo de software. Finalmente se presentan como resultado software desarrollado y sus funcionalidades.

2. Perspectiva teórica

En los procesos de innovación y emprendimiento la planeación financiera “busca determinar, con la mayor precisión posible, la cuantía de las inversiones, costos y beneficios de un proyecto para posteriormente compararlos y determinar la conveniencia de emprenderlo si es factible” (Beltrán Romero, 2011, p.70). Es por ello que, en los diferentes modelos de negocio, la evaluación financiera sirve para dar inicio o postergar la idea de negocio.

Por otro lado, tal y como afirman Correa García Ramírez Bedoya y Castaño Ríos (2010):

Cuando dicha planeación se realiza sin apoyo y de forma intuitiva, es posible cometer errores que repercutirán en el futuro del proyecto empresarial cuando realmente se ingrese al mercado y no se pueda sostener la empresa, dado que no se cuenta con los recursos suficientes para continuar (p.188).

Es decir, en ocasiones los emprendedores no logran visualizar por completo el entorno de su plan de negocio, por lo tanto, al llegar a la planeación financiera omiten información que puede afectar la puesta en marcha dado que, haciendo que al inicio, los indicadores financieros presenten una rentabilidad considerablemente alta, pero después en la puesta en marcha, la omisión de información termina por afectar la rentabilidad del plan de negocio.

En el desarrollo del SEF ITM se logra automatizar la proyección de los estados financieros y el flujo de caja libre, evitando errores humanos en los cálculos y facilitando la estimación y uso de cuentas efectivas y no efectivas. Adicionalmente se usan indicadores claves de desempeño para la evaluación financiera de proyectos o Key Performance Indicators (KPI's), por medio de los cuales se puede medir y analizar la rentabilidad del proyecto y

su desempeño durante un horizonte de tiempo. En el marco de las ideas anteriores, se desarrollaron dos grupos de indicadores así:

2.1. Indicadores para la evaluación financiera de proyectos

Se tienen como indicadores para la evaluación financiera de proyectos el valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) tomados de Sapag, Sapag y Sapag (2014) y período de recuperación de la inversión (PRI) tomado de Brealey, Myers y Marcus (2017) (p. 120).

2.2. Indicadores para medir el desempeño

Por otro lado, se tienen los indicadores de medición de desempeño, los cuales son indicadores de gestión que sirven para, para realizar diagnósticos la situación financiera, comunicar e informar sobre el cumplimiento de los objetivos y evaluar el progreso de manera constante.

En el marco de la idea anterior, los indicadores de desempeño seleccionados para la medición del SEF-ITM son: Punto de equilibrio tomado de Baca (2013); Grados de apalancamiento (Operativo, financiero y total) definidos por García y López (2017); Margen EBITDA definido por Jiménez y Rojas (2016); Relación KTNO/VENTAS tomado de Ehrhardt y Brigham (2014); Palanca de crecimiento o relación EBITDA/KTNO, registrado por García (2009); Rentabilidad del activo neto, tomado de García (2009).

Con los indicadores seleccionados se busca que el software permita evaluar el comportamiento financiero durante el horizonte de tiempo en el cual se desarrolla el plan de negocio, buscando una medición integral del desempeño, evitando concentrar la decisión de inversión exclusivamente en el cálculo de indicadores para la evaluación financiera de proyectos (TIR, VPN y PRI).

3. Metodología de investigación

El desarrollo se fundamenta en la descripción y comprobación de la información recolectada en el CTIC del ITM para su posterior análisis, por lo cual se enmarca en un estudio descriptivo; por otra parte, de acuerdo con Méndez (1988), el método de investigación usado es de tipo analítico cuantitativo, el cual inicia con la identificación de cada una de las variables obtenidas a partir de la información suministrada por los emprendedores asesorados desde el CTIC, con el objeto de establecer la relación causa-efecto entre la información que cada emprendedor entrega de su negocio y los estados financieros e indicadores que arroja el uso del software SEF-ITM; el software se creará por la necesidad de medir, evaluar y valorar la realidad económica de las empresas desde un punto de vista objetivo, buscando facilitar la toma de decisiones de los emprendedores.

Desde la perspectiva del desarrollo y gestión de proyectos informáticos, el proceso de investigación llevado a cabo se ajustó a un modelo de ciclo de vida en cascada con subproyectos, tal como se puede visualizar en el esquema general del modelo presente en la figura 1.



Figura 1 – Modelo en cascada con subproyectos. Fuente (McConnell, 1997,p.158)

De acuerdo con lo anterior, la conceptualización del software se llevó a cabo a partir del requerimiento generado por el CTIC y la etapa de análisis se realizó por Jiménez Echeverri, Sierra Lujan y Rodríguez Guevara(2019), donde se identificó la necesidad de desarrollar una aplicación de tipo cuantitativo, la cual se crea a partir de ejes temáticos, asociados a las finanzas corporativas. Dando continuidad a las etapas necesarias en el desarrollo, el diseño global se presentó por Jiménez Echeverri, Sierra Lujan, Rodríguez Guevara y Henao López (2019); finalmente, la implementación y validación se ha realizado por parte de los autores del presente artículo.

4. Resultados

4.1. Software SEF ITM v 1.0

Como resultado principal se tiene la construcción del software SEF ITM v.10 cuya interfaz de ingreso se muestra en la figura 2 el cual se encuentra pendiente de registro ante la oficina de registro de la Unidad Administrativa Especial, adscrita a la Dirección Nacional de Derecho de Autor del Ministerio del Interior de Colombia, con un Technology Readiness Levels o nivel de desarrollo tecnológico en 6 (TRL 6), el cual corresponde una “Prototipo demostrativo en ambientes relevantes cercanas a las condiciones reales operativas”, adicionalmente, el sistema entró en una segunda validación teniendo como base la matriz de evaluación tecnológica estipulada para la evaluación de la calidad del software acorde con la ISO/IEC 9126, donde se logró una aprobación del 86,17% de calidad.



Figura 2 – interfaz de ingreso SEF ITM Versión 1.0. Creado por los autores.
Imagen de acceso Parque i ITM

El SEF ITM se divide en dos grandes bloques: Datos de entrada y Resultado. El primero de ellos tal y como se observa en la figura 3, contiene toda la información que el usuario de la herramienta deberá diligenciar para llegar al componente de resultados.

Por su parte, el segundo bloque cuyo contenido se encuentra descrito en la figura 4 que corresponde a los resultados que el SEF ITM luego de su procesamiento le entrega al usuario con base en los datos de entrada. Está compuesto por las construcciones de los estados financieros de propósito general, los flujos de caja del proyecto del inversionista, los KPIs con la respectiva automatización en la lectura de los indicadores, las matrices de rentabilidad cruzada y los dashboard de seguimiento y evaluación financiera.



Figura 3 – Datos de entrada SEF ITM Versión 1.0. Fuente: Construcción propia

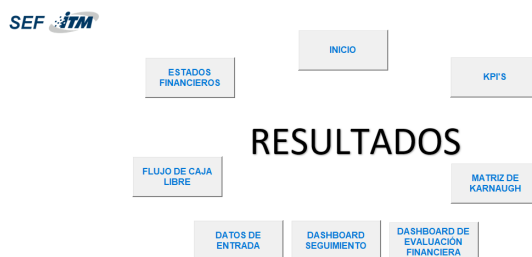


Figura 4 – Datos de entrada SEF ITM Versión 1.0. Fuente: Construcción propia

4.2. Detección de defectos metodológicos en la evaluación financiera de proyectos

Dentro de la construcción del SEF ITM v 1.0 y la revisión de literatura que soporta este desarrollo de software, se detectaron una serie de defectos metodológicos en la evaluación financiera de proyectos que llevan a cabo en la práctica y se expusieron con detalle por parte de Jiménez Echeverri, Sierra Lujan y Rodríguez Guevara, (2020). En este sentido, el desarrollo del SEF ITM se orientó no solo a la construcción de unas variables de entrada para alimentar los cálculos en los datos de salida; también se orientó a la mejora en las deficiencias metodológicas detectadas para permitir a los usuarios del software obtener resultados precisos que aportan mejoras direccionadas a la toma de decisiones.

En el marco de las ideas anteriores, se expone la forma en la cual el diseño el software aporta la solución cada uno de los defectos metodológicos detectados así:

4.2.1. Anualizar el flujo de caja

Tradicionalmente en la evaluación financiera de proyectos, los flujos de caja se calculan de manera anual, sin embargo, esta costumbre puede distorsionar las verdaderas necesidades de caja de un proyecto, pues, si este se encuentra iniciando, los primeros meses podría tener una caja negativa, mientras los últimos meses podría presentar algunos ingresos que, al sumarse con los flujos de los primeros meses, mostrará un requerimiento de caja inferior al que realmente requieren las operaciones durante el año.

Para corregir este defecto, se programaron flujos de caja mensuales y anuales, además de estados financieros con la misma periodicidad buscando evitar que se subestimen las verdaderas necesidades de caja en el proyecto.

4.2.2. No calcular el apalancamiento financiero

Generalmente se evalúa solo el flujo de caja del proyecto y no el flujo de caja del inversionista, subestimando el efecto que produce el apalancamiento en la rentabilidad del inversionista, adicionalmente algunas evaluaciones le restan importancia a la estructura de la amortización asumiendo continuamente pagos en serie uniforme, distorsionando el impacto de las amortizaciones en las necesidades de caja del proyecto.

En el SEF ITM se programó el flujo de caja del proyecto y del inversionista, con el fin de medir el impacto del apalancamiento en la rentabilidad del inversionista; adicionalmente, se programó un módulo de deuda financiera que presenta un resumen del comportamiento en todos los créditos requeridos y alimenta directamente la proyección de los estados financieros.

También se da la importancia que requiere al detalle de la financiación, por lo tanto, es posible seleccionar en todos los créditos, su valor, tipo de amortización, plazo, tipo de tasa (fija o flotante), periodo de gracia y fecha de desembolso.

4.2.3. Considerar solo estado de resultados

La evaluación financiera se elabora esencialmente por medio de flujos de caja, los cuales parten del cálculo del Estado de Resultados, dejando de lado la importancia de

la interacción de estos con el Estado de Situación Financiera y el Estado de Flujo de Efectivo. En varias evaluaciones donde se calcula el Estado de Situación Financiera, este se elabora de forma incompleta, solo para el primer año o simplemente se elabora, pero no se usa, ya que se muestra un disponible que crece de forma ilógica mientras aumentan los flujos de efectivo.

El SEF ITM permite proyectar todos los estados financieros y no solo los flujos de caja, adicionalmente se programó una validación automática, que garantiza que la ecuación patrimonial se encuentra cuadrada en cualquier proyección y de acuerdo con el disponible acumulado y los resultados en la rentabilidad anual del ROE (Return On Equity), es posible determinar una política de distribución de dividendos usando el SEF ITM.

4.2.4. No evaluar el desempeño

Existe una distracción común en la evaluación financiera de un proyecto al centrarse en el resultado final de la rentabilidad usando solo los métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo (Valor Presente Neto -VPN-, Tasa Interna de Retorno -TIR-, Periodo de Recuperación de la Inversión -PRI), sin validar la evolución del proyecto cada periodo por medio de indicadores que permitirán medir el progreso esperado.

Con el fin de no centrar la atención de la evaluación financiera solo en el resultado final de la rentabilidad (o sea en el cálculo del VPN, TIR, PRI). Pues como indican Rosales, R. A., Malebranch, A., Martínez, C., Villarreal, L., Zamora, A., Garzón y Sanabria (2007) en la evaluación financiera de proyectos se tiene “la necesidad de llevar a cabo una revisión y análisis de las metodologías que se están utilizando para determinar la viabilidad de este tipo de proyectos desde diferentes puntos de vista” (p.68).

Para evitar en el análisis financiero, el defecto metodológico mencionado, se seleccionan inductores de valor, que sirven como indicadores claves de desempeño, los cuales ayudan a validar la evolución del proyecto cada periodo.

Finalmente, se automatizó la lectura de indicadores por medio de un algoritmo asociado matrices con los posibles resultados, el cual entrega una interpretación preliminar, que además indica el periodo de mejora e identifica la tendencia primaria del indicador.

4.3. Validación del software SEF ITM

El proceso metodológico usado para la validación del software SEF ITM es el método Delphi, el cual que permite identificar por medio de encuestas a expertos criterios de predicción para conocer los efectos a futuro de un proceso o un producto basado en este contexto (Landeta, 1999). Por lo tanto, considerando que Dalkey, Brown y Cochran (1970) señalan que el error disminuye notablemente hasta llegar a 7 expertos, fueron seleccionados 9 expertos para validar si los parámetros con los cuales fue programado el software son pertinentes y cumplen con la funcionalidad requerida para estimar el proceso de análisis financiera para emprendedores.

Por otra parte, para garantizar la independencia de los expertos, estos se seleccionaron a partir de una asignación aleatoria de la base de datos de expertos evaluadores del Instituto

Tecnológico Metropolitano en las temáticas de: Finanzas, Administración Financiera, Ingeniería administrativa, Ingeniería Financiera, Economía y afines con unos niveles de educación en postgrados relacionados con finanzas (Especializaciones, Maestrías y PhD) o experiencia laboral en evaluación financiera de proyectos (mínimo de dos años).

Cada experto recibió por correo electrónico el acceso al software, el manual de usuario y un vínculo a la matriz de evaluación tecnológica¹ estipulada para la evaluación de la calidad del software acorde con la ISO/IEC 9126. Los primeros resultados de la evaluación fueron socializados con los expertos y se les pidió que de acuerdo con ellos diligenciaran de nuevo la matriz de evaluación tecnológica obteniendo como resultados de la segunda ronda de evaluación lo siguiente:

En la evaluación de modularidad se evidencia el consenso de los evaluadores respecto a la forma en la que el SEF ITM aborda la solución de los defectos metodológicos mencionados; adicionalmente, el software obtuvo un puntaje promedio de 292 puntos sobre un total de 339 puntos, lo cual corresponde a un 86,17% de cumplimiento de calidad del software. Se considera que la dispersión en la evaluación fue baja debido a que la desviación estándar del puntaje obtenido fue de 5 puntos mientras que la desviación obtenida en el porcentaje de cumplimiento de calidad fue del 1,47%. Finalmente, se obtuvo para ambos casos una curtosis de -0,0998 lo cual quiere decir que el comportamiento de la distribución es platicúrtico, además el coeficiente de asimetría fue de -0,1443 lo cual implica que la mediana de los datos se encuentra a la derecha de la media generando un sesgo en la distribución de la evaluación hacia la izquierda de la media. Finalmente, el puntaje obtenido por cada uno de los componentes evaluados se presenta en la figura 5 donde cada componente tiene una escala de evaluación diferente acorde con la norma ISO/IEC 9126.

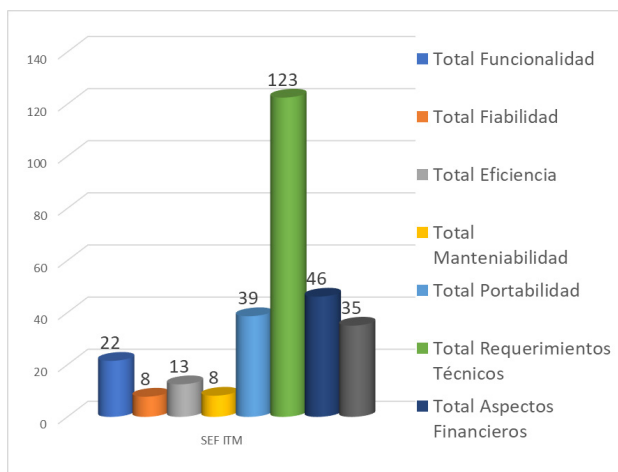


Figura 5 – Puntaje promedio por componente en la evaluación del SEF ITM. Fuente: Construcción propia a partir de la evaluación con la matriz de evaluación tecnológica.

¹ La estructura de la matriz se puede consultar en <https://forms.gle/ukHQHPHaqSS7uuPP6>

5. Conclusiones

Las mejoras en la eficiencia del funcionamiento realizadas en el diseño y codificación del SEF ITM que evitan los defectos metodológicos detectados, lo convierten en una herramienta funcional para la toma de decisiones en procesos de acompañamiento, asesoría y análisis y medición financiera por parte del Centro de Emprendimiento – Proyecto Transferencia, Innovación y Desarrollo de Conocimiento (CTIC) del ITM, logrando estandarizar el proceso de evaluación financiera y entregando los resultados en un lenguaje amigable y práctico.

Así mismo, es posible realizar control de la ejecución del proyecto a partir del SEF ITM, permitiendo al emprendedor e inversionistas comparar resultados reales contra las expectativas manifestadas en el Sistema.

Por su parte, el sistema evita los errores humanos en el cálculo, aumenta la velocidad del trabajo financiero, facilitar el análisis del proyecto y presentar la información necesaria para aprovechar oportunidades de apalancamiento y crecimiento de los emprendimientos.

Finalmente, el SEF ITM permite presentar las evaluaciones financieras de los emprendimientos con la estructura financiera adecuada para facilitar el acceso a créditos con el sistema financiero, aportes de capital y recursos que premien sus proyectos.

Debido al nivel de desarrollo en el Software, el manual de usuario se prepara como una guía para la evaluación financiera de proyectos y la base de datos de los proyectos evaluados servirá para futuras investigaciones sobre la cultura emprendedora de los estudiantes y el impacto asociado a la implementación del software.

Referencias

- Aguilera, C., Villalobos, M. T., & Dávila, A. (2018). Impacto de los factores sociológicos de los usuarios en la aceptación y uso de software de gestión de proyectos en la mediana empresa en Lima. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (i), 17–30. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17013/risti.26.17-30>
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos* (Séptima Edición). Mexico D.F: McGraw-Hill.
- Beltrán Romero, G. F. (2011). *Proyectos de emprendimiento*. Quito, Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala.
- Brealey, R., Myers, S., & Marcus, A. (2017). *Fundamentals of Corporate Finance*. McGraw-Hill Education.
- Correa García, J. A., Ramírez Bedoya, L. J., & Castaño Ríos, C. E. (2010). La importancia de la planeación financiera en la elaboración de los planes de negocio y su impacto en el desarrollo empresarial. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, XVIII(1), 179–194.
- Dalkey, N., Brown, B., & Cochran, S. (1970). The Delphi Method, III: Use of self rating to improve group estimates. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 1, pp. 283–291.

- Ehrhardt, M. C., & Brigham, E. F. (2014). *Corporate Finance: A Focused Approach* (5th Edition). South-Western Cengage Learning.
- Erazo, S. C. R., Castro, A. A., & Achicanoy, H. A. (2016). Inversión en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y su relación con en el direccionamiento estratégico de las PYMES de Santiago de Cali - Colombia. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (18), 1–17. <https://doi.org/10.17013/risti.18.1-17>
- García, A., & López, G. (2017). *Análisis de la interrelación entre el apalancamiento operativo y financiero explicado a través de la Teoría Trade-Off para empresas del sector real en Colombia , que no cotizan en bolsa entre los años 2005 al 2015*. [Tesis de Maestría en administración financiera, departamento de finanzas, Universidad EAFIT] Universidad EAFIT repositorio <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12372>.
- García, O. L. (2009). *Administracion Financiera. Fundamentos y Aplicaciones* (Cuarta). Prensa Moderna.
- Jiménez-Echeverri, E. A., Rodríguez-Guevara, D. E., & Sierra-Lujan, S. A. (2020). Propuesta de solución a defectos metodológicos encontrados en la evaluación financiera de proyectos. *Congreso Internacional de Investigación e Innovación UCEC. ISSN: 2448-6035*. Cortazar, Guanajuato, México: Universidad Centro de Estudios Cortazar.
- Jiménez-Echeverri, E. A., Sierra-Lujan, S. A., & Rodríguez-Guevara, D. E. (2019). Evaluación de proyectos de emprendimiento mediante el uso del SEF-ITM (Sistema de Evaluación Financiera ITM). (WIP). *VII Jornadas de Investiación ITM. ISSN 2665-5217 (En Línea)*. Recuperado de https://sji.itm.edu.co/revista/edicion_01-2019.pdf
- Jiménez-Echeverri, E. A., Sierra-Lujan, S. A., Rodríguez-Guevara, D. E., & Henao-López, M. C. (2019). Propuesta de desarrollo de un sistema de evaluación financiera para proyectos de emprendimiento. *Congreso Internacional de Semilleros de Investigación-Educación-Tecnología. ISSN 2619-1873*. Quito, Ecuador: Grupo de Investigación KENTA.
- Jiménez, J. I., & Rojas, F. S. (2016). Aplicación de inductores generadores de valor para la gestión en microempresas. *En Contexto*, 4(5), 99–116. <https://doi.org/2346-3279>
- Landeta, J. (1999). *El método Delphi. Una Técnica de previsión para la incertidumbre*. Barcelona: Ariel.
- McConnell, S. (1997). *Desarrollo y gestión de proyectos informáticos*. Madrid - España: Mc Graw Hill.
- Méndez, C. E. (1988). *Metodología. Guía para elaborar diseño de investigación en ciencias económicas, contables, administrativas*. Bogotá D.C: McGraw-Hill.
- Meza, J. de J. (2018). *Evaluación Financiera de Proyectos* (Cuarta Edición). ECOE ediciones.

- Rosales, R. A., Malebranch, A., Martínez, C., Villarreal, L., Zamora, A., Garzón, S., & Y., Sanabria, M. (2007). Análisis de las metodologías de evaluación financiera, económica, social y ambiental de proyectos de inversión agrícola utilizadas en Colombia. *Finanzas y Política Económica*, 67–96.
- Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos*. Mexico D.F: McGraw-Hill Educación.
- Tooptompong, P., & Piromsopa, K. (2018). Using Factor Analysis Techniques to Identify SME Information Systems' Functionality Requirements. *The International Journal of Interdisciplinary Organizational Studies*, 12(3), 13–30. <https://doi.org/10.18848/2324-7649/CGP/v12i03/13-30>

SCRATCH como herramienta para el desarrollo del pensamiento computacional en educación básica

Sandoval Bernarda¹, Yáñez Anita¹, Franyelit Suarez², Omar, Flor²

{bernarda.sandoval; anita.yanez; franyelit.suarez; omar.flor} @udla.edu.ec

1, Universidad de las Américas UDLA, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, Ingeniería de Software, Quito, 170125, Quito, Ecuador

2 Universidad de las Américas UDLA, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, Ingeniería Industrial, Quito, 170125, Quito, Ecuador

Pages: 116–126

Resumen: En este trabajo se presenta un análisis de la relevancia que tienen los juegos prácticos para mejorar la capacidad de conceptualizar, analizar y resolver problemas computacionales en estudiantes de Educación General Básica. Se realizó un test inicial para medir el nivel de pensamiento computacional orientado al razonamiento abstracto y numérico. Se ejecutó un proceso de gamificación utilizando la herramienta SCRATCH y adaptando la metodología de LEGO® de las 4C. Los resultados muestran que existe una mejora del 94% en el promedio del test de razonamiento, y un 28% de mejora en el tiempo de su solución.

Palabras-clave: SCRATCH; Pensamiento computacional; capacidades computacionales.

SCRATCH as a tool for the development of computational thinking in basic education

Abstract: This paper presents an analysis of the relevance of practical games to improve the ability to conceptualize, analyze and solve computational problems in students of Basic General Education. An initial test was performed to measure the level of computational thinking oriented to abstract and numerical reasoning. A gamification process was carried out using the SCRATCH tool and adapting the LEGO® 4C methodology. The results show that there is a 94% improvement in the average of the reasoning test, and a 28% improvement in the time of its solution.

Keywords: SCRATCH; Computational thinking; computational capabilities.

1. Introducción

El impacto de la tecnología y su influencia global a partir del siglo XXI, ha influenciado e impulsado medios modernos de comunicación y manejo de información para los sistemas educativos, entre ellos, instituciones de educación primaria, en donde estas

nuevas alternativas son cada día más empleadas (Andelić- Zimić, 2018). Adicional a ello el uso de estas tecnologías, exige un mayor uso de dispositivos electrónicos por parte de alumnos y maestros, quienes deben capacitarse para lograr un mejor aprovechamiento de estas soluciones tecnológicas. Mediante el uso de juegos aplicados a la educación, es posible generar, desarrollar y usar entornos de mayor interés para los estudiantes (Kong & Lai, 2020) logrando, además, cambiar las explicaciones por experiencias aún más representativas, con la oportunidad de contribuir significativamente en el proceso de enseñanza (Kong & Wang, 2020) o bien (Mason & Rich, 2020).

En la actualidad, a más de la comprensión, buena lectura, correcta escritura y destreza aritmética, se requiere además un buen entendimiento y manejo de la tecnología (Eguiluz, 2015), (Chou, 2018), (Velázquez & Méndez, 2018). Desde hace poco más de una década atrás, se considera al pensamiento computacional, como una competencia necesaria y pertinente para incluirla en la educación formal de niños y niñas (Wing, 2006). Esta nueva competencia, implica resolver problemas, diseñar sistemas y comprender el comportamiento humano, haciendo uso de los conceptos fundamentales de la informática (Olmo, Cózar & Gonzalez, 2020). Además, desarrolla las habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas con base en los conceptos de la computación de manera sistemática (Chou & Feng, 2019).

El software SCRATCH, concebido como nueva herramienta para desarrollar el pensamiento computacional (Shanahan & Dai, 2017), se centra en fomentar la creatividad y el pensamiento lógico. A pesar de que este software puede ser empleado a cualquier edad, se recomienda su empleo en niños para generar interés en el conocimiento de la programación y áreas afines. Además, permite compartir con otras personas, las creaciones generadas a través de la web (Rodriguez, Gonzalez & Saenz, 2020). Enseñar a un niño a programar en SCRATCH, lo impulsará a que este, adquiera soltura y asimile de mejor manera los conceptos (Funke, Geldreich & Hubwieser, 2017), ideas básicas y flujos de trabajo sobre programación y pensamiento computacional, de manera divertida y atrayente, generando interés y proporcionando bases técnicas que le motiven a seguir (Clements & Gullo, 1984).

El software SCRATCH, posee versiones que permiten ser usadas por infantes menores a los 6 años (versión visual Junior) y además otra, que se adapta a edades superiores, cuando el proceso de lectura ya se ha dominado en la mayoría de los niños (Chou, 2020), (Fessakis & Gouli, 2013).

Este software permite poner en juego los conceptos básicos de pensamiento computacional (secuencias, iteraciones, condicionales, manejo de eventos), y una fase matemática orientada hacia la resolución de problemas. Algunos de estos problemas matemáticos se abordan de manera semántica a fin de asociar conceptos básicos para el desarrollo (Rodriguez, Gonzalez & Sáez, 2020). La codificación empleada, permite ejercitar habilidades de pensamiento complejas y competencias clave en los estudiantes (Falloon, 2016).

El software SCRATCH puede aplicarse de manera multidisciplinaria en estudiantes de primaria, para lo cual, se desarrollan aspectos cognitivos en torno al tratamiento de datos (Eguiluz, 2015), permitiendo su recopilación, análisis y representación, en tanto que para los problemas, se facilita su descomposición y abstracción, mientras que para la

solución se emplean algoritmos y procedimientos y finalmente, para su funcionamiento, se proporcionan facilidades en automatización, simulación y paralelismo de tareas, entendiéndose esta última, como la organización de recursos para realizar tareas de forma simultánea.

SCRATCH permite a los participantes, compartir sus soluciones o códigos con otros usuarios y emplearlo en otras aplicaciones (Amanullah, 2019). Esta facilidad de compartir el código proporciona oportunidades para el análisis y generación de criterios de aceptación entre distintos participantes, logrando que el estudiante se involucre en el código de forma positiva, evitando la copia y el uso inapropiado de información (Wang, et al, 2019), (Fagerlund et al, 2020). El uso de estas combinaciones y enriquecimiento de múltiples códigos permite presentar trabajos a gran escala, evidenciando su impacto en el aprendizaje de habilidades de programación a través de la utilización de bloques. Esta tecnología de lenguaje gráfico también puede ser utilizada por niños con necesidades educativas especiales (Jadán et al, 2019; Moreno & Robles, 2016).

Se han realizado múltiples estudios como el de (Wilson et al, 2012) en el que se manifiesta que los estudiantes se sienten más motivados e involucrados en el proceso de aprendizaje aumentando sus competencias, mientras que (Yildiz & Guyer, 2019) ha determinado una eficiencia en el proceso de aprendizaje y sugiere que las niñas participantes obtienen puntajes más altos que los niños en el aprendizaje de la programación y acentuándose este resultado para grupos etarios de entre 9 a 10 años de edad. Desde el punto de vista de los estudiantes, el uso de SCRATCH para el desarrollo de videojuegos es un reto desafiante pero entretenido a la vez. A pesar de dificultades como la creación de nuevos algoritmos y los desacuerdos entre los integrantes del equipo. El resultado es apreciado, atractivo y educativo y además les permite cultivar el valor del trabajo cooperativo (Siew & Khalid, 2018). Estudios como el de (Fatourou et al, 2018) concluye que alumnos de 10 años de edad, aprendieron sin inconveniente temas básicos de concurrencia, en tanto que para los que tenían 11 años, lograron una familiarización con la programación en temas más avanzados.

El empleo de SCRATCH para situaciones educativas, según (De Lucas Burnero et al, 2012) permite dar un salto cualitativo en la mejora de la enseñanza estratégica y centrada en el alumno, quien a su vez es protagonista del mismo proceso y se convierte en un participante activo estimulando además su creatividad.

En la tabla 1 (Lopez & Sanchez, 2012), se muestran los beneficios del trabajo con SCRATCH en comparación al trabajo en un aula tradicional, se puede concluir que el estudiante va construyendo su aprendizaje de forma activa y colaborativa, además de contribuir a la actividad cognitiva de los estudiantes y su relación con el entorno.

Estudiante en el trabajo en aula tradicional	Estudiantes en el trabajo con Scratch
Actitud pasiva	Actitud active
Trabajo individual son poder compartirlo	Comunicación e intercambio de ideas
Responde a actividades planeadas por otros	Planifica actividades

Estudiante en el trabajo en aula tradicional	Estudiantes en el trabajo con Scratch
Trabajan en proyectos asignados por el profesor	Trabaja en proyectos de su interés
Conflicto y error poseen carácter negativo	Conflicto y error poseen carácter negativo
Deben seguir resultados uniformes	Avances a su ritmo propio
Actúa sin autonomía	Actúa con autonomía

Tabla 1 – Definición de algunos estilos

2. Metodología de trabajo

Para la elaboración de este trabajo se realizó la comparación de los resultados iniciales y finales que se obtuvieron durante la ejecución del proyecto de vinculación de la carrera de Ingeniería de Software de la Universidad de las Américas en la ciudad de Quito. El trabajo estuvo orientado a niños de educación básica con edades comprendidas entre 9 y 12 años. Se eligió una institución educativa ubicada en una zona urbano-marginal.

Se consideraron a los estudiantes de sexto de básica, se trabajó con los 2 paralelos que poseía la institución, evaluando así un total de 76 niños, 41 niños y 35 niñas, cuyas edades estuvieron entre 9 y 12 años, todos en el mismo horario de estudios y de manera anónima. La tabla 2 muestra la distribución de niños y niñas por edades.

Edad	Número de niñas	Número de niños	Total
9	12	12	24
10	22	21	43
11	1	8	9
Total	35	41	76

Tabla 2 – Descripción de edades para la evaluación del aprendizaje con el uso de SCRATCH

Para la evaluación del software se empleó un ejercicio basado en el reconocimiento de bloques y apariencias, además de evaluar la actitud de los participantes ante una herramienta nueva como es la computadora, que por los bajos recursos del entorno no son de fácil acceso en todos los niños.

La evaluación estuvo compuesta por distintas actividades de reconocimiento de figuras, ubicación de figuras en espacios apropiados, así como la distinción de colores y números, entre otras. Estas mismas actividades se realizaron en las mesas sin computador, con los mismos grupos de trabajo y con los mismos colores y formas que estaban presentes en el software. La idea fundamental era valorar el desempeño de una misma actividad en dos escenarios distintos, con el único fin de evaluar el tiempo y la forma de desempeñarse de los participantes, por ello las características del ejercicio debían permanecer inalteradas.

Se realizó un test para conocer el nivel de desarrollo del pensamiento computacional a través de la evaluación del razonamiento abstracto y numérico de los niños, para lo cual se tomó en cuenta el programa de evaluación de estudiantes internacionales de la OCDE (PISA) y de la asociación de personas de alto cociente intelectual (PISA-Technical Report, 2006). Como primera actividad se realizó un test piloto, que fue aplicado a niños con las mismas características similares en cuanto a edad y condición social. Los resultados obtenidos permitieron realizar un mejoramiento en cuanto a la redacción de las preguntas, de tal manera que fueran entendidas por los participantes sin mayores explicaciones, y que ello le permitiera dar respuestas concretas sin ambigüedades.

El test final estuvo comprendido por 12 preguntas enfocadas en el razonamiento abstracto, como la capacidad de prestar atención a detalles para abstraer y formar conceptos, además se evaluó el razonamiento numérico como la habilidad para captar y aplicar relaciones lógicas. La ponderación de cada pregunta fue de 1 punto y la nota final del test fue sobre 10 puntos.

La distribución de las preguntas fue equitativa para los dos tipos de razonamiento, debido a que, para desarrollar el pensamiento computacional, es necesario el análisis, la abstracción y la descomposición, considerados en ambos tipos de razonamiento.

El trabajo con SCRATCH se sostuvo durante cinco meses continuos y permitió medir el impacto del uso del software en el aula de clases, realizando la evaluación continua durante el proceso de ejecución de las prácticas para medir las habilidades y destrezas de los participantes. Los grupos fueron rotando entre la aplicación y el trabajo en mesas sin software, en cada sesión se estimaron los tiempos y el desempeño.

El trabajo se organizó con las siguientes consideraciones: aplicación de dos horas semanales de práctica (80 minutos) en un solo día a la semana, trabajando en equipos de 2 estudiantes y en cada sesión se ejecutaron 10 minutos de actividades lúdicas para el desarrollo de razonamiento abstracto y numérico, 10 minutos de socialización del trabajo a realizar y divulgación de conceptos para el uso de SCRATCH, 40 minutos de trabajo grupal con intervención de un facilitador y orientador, 20 minutos de socializar y compartir las soluciones encontradas con los demás compañeros de clase, por parte de los mismos estudiantes.

Además estos mismos grupos se distribuían en las mesas para el trabajo sin software, donde los tiempos se evaluaban de la misma manera que en las pruebas prácticas con computador.

Para el proceso de evaluación del uso del software como herramienta funcional para la educación se consideró lo propuesto por (Carrasco & Prieto, 2016), quien en los años '50 propone el uso de elementos computacionales en el aula, plantea que la educación debe ir conjugada con materiales computarizados. Basados en estos principios se integra la computación en las clases tradicionales, logrando combinar las herramientas, unir conocimientos y fundamentar teorías, que a su vez motiven la integración de grupos para atender problemas, la formulación de ideas ante nuevos procesos y la actitud ante nuevos paradigmas.

Este tipo de aplicaciones resulta de gran utilidad para motivar el uso de nuevas tecnologías a los estudiantes, de manera que las asignaturas impartidas comprenden la actualización de los nuevos tiempos y permitan una apertura a los nuevos conocimientos. La educación tradicional está viviendo un proceso de transformación que incluye la incorporación de la tecnología en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

3. Metodología de las 4C de LEGO®

A fin de evaluar el razonamiento abstracto y numérico, en los estudiantes de educación básica, se aplicó el test al grupo antes y después del uso de SCRATCH, estas evaluaciones permitieron comparar el beneficio en el desarrollo del pensamiento computacional considerando los razonamientos antes mencionados.

En el proceso de ejecución práctica con la herramienta Scratch se adaptó la metodología de las 4C propuesto por (LEGO-Education,2020), que impulsa a los estudiantes a experimentar, explorar y desarrollar nuevos conocimientos.

En la figura 1, se presentan 3 secciones horizontales, la inferior que corresponde a las habilidades actitudinales, la segunda que describe las actividades realizadas, y una tercera que implica las habilidades cognitivas.

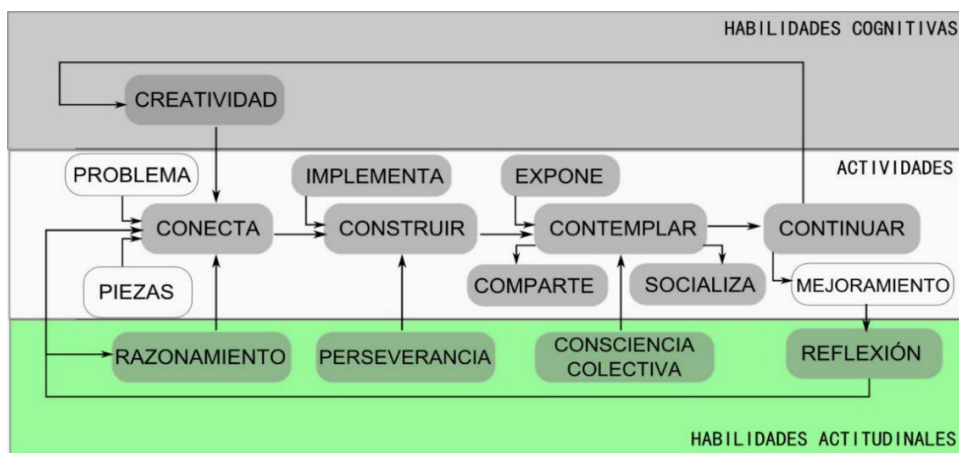


Figura 1 – Metodología aplicada, basada en las 4C de LEGO®.

Respecto de las actividades realizadas y propuestas por la metodología 4C de LEGO®, se debe conectar, construir, contemplar y continuar. En cuanto a las habilidades cognitivas, estas parten del proceso de continuar y replantean el problema mediante el uso de la creatividad, que es un parámetro que se desea potencializar. Las habilidades actitudinales se relacionan con el razonamiento, la perseverancia, consciencia colectiva y reflexión, este último también aporta al replanteo del problema y por tanto a una mejora continua para hallar la solución requerida, todos estos aspectos se relacionan en la figura 1,

que brinda una guía sobre la relación de estos aspectos en el desarrollo creativo con el uso de SCRATCH.

Las 4C, descritas en el método usado en el desarrollo, se detallan a continuación, tal y como se implementaron para la investigación.

Una fase llamada Conectar, que permite al niño conectar sus conocimientos previos con el planteamiento de una alternativa de solución. En este paso el participante, analiza, abstrae y descompone el problema utilizando su creatividad para plantear una solución. Esta se comparte con sus compañeros y de manera consensuada, el equipo, analiza la mejor estrategia a ser implementada. En esta fase se desarrolla la creatividad, comunicación efectiva y la empatía en el trabajo. Además, dependiendo del reto, el niño aplicara el razonamiento abstracto y numérico.

La fase Construir, la cual permite que el niño implemente la solución usando la herramienta de programación en bloques. En caso de no hallar los resultados esperados, podían evaluar la solución del problema y si fuera necesario regresar al análisis del problema, desarrollando en el niño la perseverancia, tolerancia a la frustración y mejora del trabajo colaborativo.

En la fase Contemplar, el grupo socializa y comparte su solución con sus compañeros y docentes de curso, creando un espacio de debate sobre la solución planteada y su funcionamiento. En esta etapa se desarrolla la comunicación efectiva y la tolerancia a las críticas recibidas.

La última fase que corresponde a Continuar, brinda retroalimentación del grupo y mediante los conocimientos adquiridos, se genera la motivación y curiosidad del niño para generar nuevas ideas y solucionar nuevos retos.

4. Resultados

La muestra estadística estuvo compuesta por 76 niños que componen los grupos escolares que tiene disponible la institución para el estudio. El test realizado fue validado por (INEVAL I, 2017) estuvo compuesto por 20 preguntas y la evaluación estadísticas de los ítems arrojó un alfa de Crombach de 0,87, que garantizó la efectividad de las preguntas.

La evaluación previa a la práctica permitió conocer varios aspectos de los participantes, entre ellos su actitud ante nuevos procesos, y sus conocimientos al uso de la tecnología en la educación. Fue evidente constatar que los participantes desconocían el correcto uso de los computadores y equipos tecnológicos. Sin embargo luego de las actividades realizadas fue posible verificar un mayor desenvolvimiento de los niños y su disposición al uso de las tecnologías. A su vez era posible evidenciar que los niños mostraban mayor interés para aprender a usar la herramienta de software.

Se consideró la evaluación del tiempo de ejecución para realizar las actividades con el software y sin él, observando que en una primera evaluación los estudiantes evaluados se resistían al uso de las computadoras pero una vez que lograron romper con estos miedos, la efectividad de respuestas con el software fue de mayor eficiencia que en las mesas sin software. Esto también porque la computadora representó una herramienta innovadora y

de gran interés para los participantes. El tiempo de ejecución con el software tuvo una ventaja de 27,77% por encima del tiempo de ejecución sin el software.

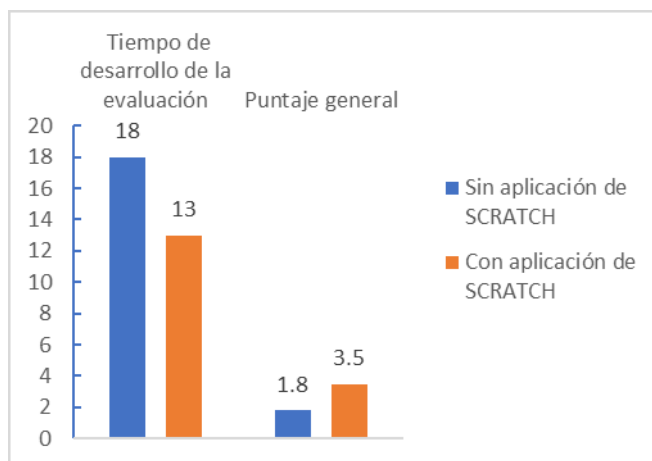


Figura 2 – Mejora en el tiempo y calificación global en la solución de la evaluación

Se evidenció una mejora, tanto en el desempeño intelectual, así como en el tiempo de respuesta de la evaluación (figura 2). Respecto de desempeño, el puntaje aumentó en un 94% respecto a la primera evaluación, previa a la intervención, mientras que el tiempo se redujo en un 28%.

En cuanto a la evaluación del razonamiento abstracto y numérico, estos se vieron influenciados positivamente, el razonamiento numérico presentó un 14,9% al inicio del estudio, logrando incrementarse en un 31,2% luego de la ejecución del proyecto, en relación con el razonamiento abstracto, al inicio el 26.9% de estudiantes contestó correctamente mientras que al final resultó un 40.6 % con preguntas acertadas. Se identifica que el razonamiento numérico se ve potencialmente mejorado con el uso de esta herramienta lúdica.

También fue posible conocer la opinión de los facilitadores y profesores de la institución, quienes resaltaron el cambio significativo en los niños después del uso de la gamificación con SCRATCH, observándose que los participantes tenían actitudes más reflexivas y críticas, lo que contribuye al proceso de la enseñanza-aprendizaje de los niños.

Resulta importante destacar que incorporar tecnología en las aulas no solo implica enseñar a los estudiantes a convivir con ella, sino también, fortalecer a los docentes en las prácticas tecnológicas que hagan posible una integración en las asignaturas, sin desligarse de los conceptos fundamentales de la enseñanza. El docente deberá entonces modificar sus técnicas y métodos tradicionales para incorporar el uso de la tecnología y de esta manera, involucrarse en las nuevas tendencias educativas, que sin duda conducirán a un mejor desempeño en los nuevos profesionales.

5. Conclusiones

Considerando los resultados de la evaluación antes y después de aplicar el software SCRATCH, es posible afirmar que la metodología utilizada favorece el desarrollo cognitivo de los niños, así mismo contribuye al desarrollo de habilidades numéricas, abstractas, y reflexivas en niños de Educación General Básica.

El uso de la metodología de Lego® de las 4c permite el desarrollo de la creatividad en los estudiantes, a través de los retos desarrollados en el proceso de gamificación, superando las expectativas de los evaluadores. Además, esta metodología, favoreció la empatía, trabajo en equipo, comunicación asertiva, escucha activa y reflexión.

La práctica utilizada para medir el desarrollo intelectual resultó más sencilla cuando se trataba de objetos conocidos que los niños utilizaran de forma habitual, mientras que con objetos abstractos la resolución resultaba un poco más tardía.

Los niños mostraron mayor interés por el uso de equipos computacionales ya que estos están más adaptados a su día a día y a las nuevas tendencias de las nuevas generaciones, lo cual resulta muy divertido para el contexto en el que se desarrolló el estudio.

El uso de una nueva técnica de estudio permitió evaluar los cambios anímicos en los niños, quienes frecuentaban emociones de frustración y motivación de forma continua, y que fue equilibrándose a medida que se lograban más metas en el proceso de la gamificación. Este tipo de cambios emocionales favorece en el aprendizaje del niño como una forma oportuna de controlar la ansiedad y la desmotivación. Así mismo de incentivar la perseverancia

El desarrollo del pensamiento computacional permite desarrollar habilidades como la resolución de problemas de cálculo y de lógica. Pero además la habilidad para adaptarse a nuevos procesos y nuevas formas de enseñanza.

El uso de la tecnología en la educación es fundamental para mejorar el curriculum profesional de todas las áreas académicas, de tal manera que tanto docentes y estudiantes crezcan de manera individual y en grupo hacia las nuevas tendencias educativas, logrando así reforzar las distintas habilidades de los estudiantes, involucrarlo en las nuevas formas de aprendizaje y permitir la compenetración de los mismos en las nuevas sociedades.

La aplicación de la tecnología en la educación es de gran importancia en el desarrollo de las nuevas profesiones, su uso apropiado permite el desarrollo de nuevas destrezas y habilidades para los profesionales de los nuevos tiempos, que no solo enriquecen las destrezas académicas sino que además fortalecen las sociedades del futuro.

La educación y la tecnología deben ir de la mano para garantizar un profesional capaz, con habilidades apropiadas para los nuevos retos de una sociedad cambiante, creciente y con miras a profesiones más abiertas, más adaptadas, más hábiles.

Referencias

Amanullah, K., Bel, T. (2019). Evaluating the Use of Remixing in Scratch Projects Based on Repertoire, Lines of Code (LOC), and Elementary Patterns. *IEEE*.

- Andelić-Zimić, A. (2018). Modern Teaching Approaches, *Researchgate*, 28, 223-233.
- Chou, P. (2020). Using ScratchJr to Foster Young Children's Computational Thinking Competence: A Case Study in a Third-Grade Computer Class. *Journal Sage*, 58.
- Chou, P. (2018). Smart technology for sustainable curriculum: Using drone to support young students' learning. *Sustainability*, 10(10).
- Chou, P., Feng, S. (2019). Using a tablet computer application to advance high school students' laboratory learning experiences: A focus on electrical engineering education. *Sustainability*, 11(2).
- Clements, D. Gullo, B. (1984). Effects of computer programming on young children's cognition, *Journal of Educational Psychology*, 76(6), 1051-1058.
- De Lucas Burneo, Y., De Lucas, R., Perez, I., Fernandez, P. (2012). Generating new collaborative learning environments in primary education using scratch, *5th International Conference of Education, Research and Innovation*.
- Eguiluz Lopez, N. (2015). El pensamiento computacional en el aula". *Revista Arista Digital*, 81-89.
- Fagerlund, J., Hakkinen, P., Vesisenaho, M, Viiri, J. (2020). Computational thinking in programming with scratch in primary schools: A systematic review. *Wiley Online Library*.
- Fessakis, G., Gouli, E. (2013). Problem solving by 5-6 years old kindergarten children in a computer programming environment: A case study. *Science direct*, 63, 87-97.
- Feurzeig, W., Papert, S., Lawler, B. (2011). Programming-languages as a conceptual framework for teaching mathematics. *Researchgate*, 19, 487-501.
- Falloon, G. (2016). An analysis of young students' thinking when completing basic coding tasks using Scratch Jnr. On the iPad. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32.
- Fatourou, E., Zygouris, N., Loukopoulos, T., Stamoulis, G. (2018). Teaching Concurrent Programming Concepts Using Scratch in Primary School: Methodology and Evaluation. *International Journal of Engineering Pedagogy*.
- Funke, A., Geldreich, K., Hubwieser, P. (2017). Analysis of scratch projects of an introductory programming course for primary school students. *Researchgate*.
- Jadán, J., Guevara, C., Lara, P., Sánchez, S., Calle, T. (2019). Development of an Accessible Video Game to Improve the Understanding of the Test of Honey-Alonso, *Springer Link*, 959, 289-298.
- Kong, S., Lai, M., Sun, D. (2020). Teacher development in computational thinking: Design and learning outcomes of programming concepts, practices and pedagogy. *Science direct*, 151.
- Kong, S., Wang, Y. (2020). Formation of computational identity through computational thinking perspectives development in programming learning: A mediation analysis among primary school students, *Science direct*, 106.

- Lopez, C., Sanchez, R. (2012). Scratch y Necesidades Educativas Especiales: Programación para todos, *Revista de Educación a Distancia*, (34).
- Mason, S.L. (2020). Rich, P. Development and analysis of the Elementary Student Coding Attitudes Survey. *Science direct*, 153.
- Moreno, J., Robles, G. (2016). Code to learn with Scratch. *Researchgate*.
- Olmo, J., Cózar, J.R, Gonzalez, J. (2020). Computational thinking through unplugged activities in early years of Primary Education. *Science direct*, 150.
- PISA-Technical Report. (2006). *Programme for International Student Assessment*. Francia: OECD. Recuperado de: <http://www.oecd.org/berlin/42174841.pdf>
- MENSA-España. (2020). *La Asociación de Personas con Alto Coeficiente Intelectual*. España: Mensa. Recuperado de: <https://www.mensa.es/cms/pages/%C2%BFqu%C3%A9-es-mensa>
- LEGO-Education. (2020). LEGO® *Education Academy Planning Your Lesson*. Estados Unidos. Recuperado de: <https://education.lego.com/en-us/academy-training/planning-your-lesson>
- Rodriguez, J., Gonzalez, J., Sáez, J. (2020). Computational thinking and mathematics using Scratch: an experiment with sixth-grade students. *Taylor & Francis Online Journal*, 28, 316-327.
- Shanahan, J., Dai, L. (2017). Large scale distributed data science from scratch using apache spark 2.0. *Semantic scholar*.
- Siew, L., Khalid, F. (2018). Primary School Students' Experiences during Game Development Project Using Scratch. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.21).
- Velázquez, F.C, Méndez, G.M. (2018). Augmented reality and mobile devices: A binominal methodological resource for inclusive education (SDG 4). an example in secondary education. *Sustainability*, 10(10),
- Wang, W., Zhang, J., Li, Q., Hwang, M., Zong, C., Li, Z. (2019). Incremental learning from scratch for task-oriented dialogue systems. *Cornell University*.
- Wing, J.M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49(3).
- Wilson, A., Hainey, T., Connolly, T. (2012). Using Scratch with Primary School Children: An Evaluation of Games Constructed to Gauge Understanding of Programming Concepts. *International Journal of Game-Based Learning*.
- Yildiz, H., Guyer, T. (2019). Programming with Scratch in primary school, indicators related to effectiveness of education process and analysis of these indicators in terms of various variables. *Gifted Education International*.

La pluriculturalidad en el desarrollo de iniciativas de e-gestión centradas en el usuario

Magniven Mamian¹, Jhoan Anacona¹, Armando Ordoñez¹, Cristian Camilo Ordoñez¹, Cristian Mendez¹

m.mamian@fup.edu.co; j.anacona@fup.edu.co; jaordonez@unicauca.edu.co;
camilo.ordonez@docente.fup.edu.co; cristian.mendez@docente.fup.edu.co

¹ Intelligent Management Systems – Fundación Universitaria de Popayán, 190001, Popayán, Colombia

Pages: 127–139

Resumen: El bajo uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación por parte de las comunidades indígenas y campesinas se debe en parte a que la mayoría de estos sistemas no consideran sus costumbres o cosmovisión, en una palabra, su cultura. En este trabajo se presenta una propuesta metodológica de diseño pluricultural centrado en el usuario y su aplicación en el Resguardo Indígena Yanacona de Pancitará, del municipio de la Vega Cauca, donde indígenas, campesinos y urbanos comparten el territorio. Esta propuesta presenta métodos, estrategias centradas en el marco de participación intercultural, el objetivo principal es satisfacer las necesidades de las organizaciones de la región. Como resultado se obtiene un sistema que responde a la necesidad de la comunidad en relación a un CENSO poblacional el cual es urgente para la comunidad Indígena, campesina y urbana del municipio de la Vega Cauca.

Palabras clave: Diseño centrado en el usuario, diseño inclusivo, cosmovisión, pluricultural, framework.

Multicultural user-centered design of an indigenous census system

Abstract: The scarce use of Information and Communication Technologies by indigenous and farmers is partly due to the fact that most of these systems do not consider their customs or worldview, in a word, their culture. This work presents a framework for pluricultural user centred design and its application in the Yanacona Indigenous Reserve of Pancitará, in the municipality of Vega Cauca, where indigenous, rural and urban people share the territory. This proposal presents methods, strategies and techniques focused on the framework of intercultural participation, with the main objective of satisfying the needs of diverse organizations. A system was developed that responds to the need of the community in relation to a population CENSUS which is urgent for residents of the municipality of Vega Cauca. This process is followed up and evaluated to make the relevance of the developed software visible.

Keywords: Enter up to five keywords, separated by semicolons.

1. Introducción

El uso de las TIC por parte de las comunidades indígenas para automatizar procesos administrativos y para la toma de decisiones es aún muy bajo (Bernal Camargo and Murillo Paredes 2012). Esta situación ha contribuido a aumentar la brecha digital de estas comunidades respecto a muchas otras comunidades, y repercute en grandes dificultades para la consecución de sus objetivos económicos, sociales, culturales y políticos (Bernal Camargo and Murillo Paredes 2012).

La falta de difusión de herramientas TIC se debe en gran parte a que la mayoría de los programas o aplicaciones existentes no están de acuerdo con el pensamiento y cosmovisión indígena, creencias, costumbres y autonomía indígena de los pueblos indígenas ancestrales (Vargas 2016). Por otro lado, las nuevas generaciones que, si tienen acceso permanentemente a la tecnología, están expuestos a la pérdida progresiva y continua de su identidad cultural.

Una posible alternativa para desarrollar este tipo de sistemas es el diseño policéntrico centrado en el usuario. Este diseño busca que los sistemas ofrezcan información útil e intercambiable que permita la toma de decisiones de todos los usuarios que participen en el sistema (Zulkaflí et al. 2017).

Muchas propuestas de diseño centrado en el usuario buscan que los sistemas desarrollados satisfagan los requerimientos de los usuarios de diversos contextos sociales, culturales, educativos y de condiciones de salud. Por ejemplo el trabajo de Zulkaflí et al. describe un framework para diseñar sistemas de apoyo a la decisión ambiental (EDSS) de forma policéntrica (Zulkaflí et al. 2017).

Sin embargo, muy pocos de los frameworks propuestos han abordado el análisis de cosmovisiones indígenas y campesinas en un mismo diseño, ni tampoco se centran en disminuir los temores a los avances tecnológicos en pueblos indígenas.

En este artículo se describe un framework pluricultural de diseño centrado en el usuario, que busca considerar diversos elementos de la cultura. Este framework se aplicará en el diseño de un sistema de censo para una región con diversas culturas, a saber, indígenas, blancos y campesinos. Cada grupo tiene formas de gobernar diferente y culturas diferentes, por consiguiente, un elemento relevante y de gran importancia. Para el presente trabajo el término pluriculturalidad hace referencia a muchas culturas, desde este punto de vista se designa la presencia de diversas tendencias ideológicas y grupos sociales dentro de un territorio.

El resto de este artículo se organiza de la siguiente forma, la sección 2 describe los trabajos relacionados. La sección 3 presenta la propuesta del framework para el diseño pluricultural. Para finalizar en la sección 4 presenta las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Trabajos relacionados

El objetivo de los sistemas para la toma de decisiones es brindar herramientas a sus usuarios que sean útiles y usables. Para ello es necesario que durante el diseño de

estas plataformas se analicen múltiples variables. Kübler et al. (2014) Proponen el diseño centrado en el usuario (DCU) para la investigación y el desarrollo en interfaces cerebro-ordenador (ICO), lo que implica un cambio exige centrarse en los aspectos individuales tales como la tasa de precesión y transferencia de información (ITR) a una experiencia de usuario más holística. Se propone un proceso iterativo entre el usuario final y el desarrollador. Este framework se aplicó con éxito a varias aplicaciones que fueron evaluados por los usuarios finales con discapacidad motora severa. De igual manera, *Zulkafli et al. (2017) consideró varios grupos de campesinos de una región agro Pastoral andina peruana, estudiantes, expertos. Este trabajo describió un enfoque centrado en el usuario que involucra el análisis del actor y la toma de decisiones, combinando métodos de co-diseño. Como resultado obtuvo un soporte de toma decisiones personalizado a las necesidades de diferentes grupos de usuarios, además crea un enfoque de apoyo en la toma de decisiones de manera poli céntrica considerando distintos grupos de actores.*

Por otra parte (Konstantakis et al. 2017) analizaron y evaluaron los aspectos de las metodologías enfocadas en la experiencia del usuario (UE) que están disponibles en la actualidad. Los autores proponen una metodología basada en experiencia cultural del usuario, que se usa en sistemas de patrimonio cultural, pero que también puede usarse para la evaluación de otros sistemas y elementos tecnológicos. Stara et al. (2018) evalúan la usabilidad y UE del sistema WIISEL en varios países, este sistema se desarrolló utilizando un proceso DCU en Irlanda, no hubo diferencias importantes en los resultados de usabilidad y UE para el sistema en los diferentes países donde se evalúa, como resultado se obtiene que la cultura de los países no parece que afecte a la usabilidad del sistema. Por otra parte (Bozzelli et al. 2019) crea una infraestructura tecnológica para la mejora permanente de los recursos culturales denominado ArkaeVision, este sistema integrado centrado en el usuario es capaz de ofrecer diferentes modalidades de explotación de los activos del Patrimonio Cultural, incluidas representaciones virtuales de monumentos, obras de arte y objetos, así como las historias asociadas a ellos.

La mayoría de las propuestas existentes ofrecen interesantes perspectivas para el abordaje de los diseños de sistemas para varios grupos, sin embargo, no analizan los elementos culturales de los grupos.

3. Metodología de diseño pluricultural centrado en el usuario

Los elementos más importantes de la metodología propuesta se describen en la figura 1 y se detallarán en el desarrollo de una aplicación para una comunidad del sur del Cauca (Colombia) en la que conviven indígenas, campesinos y usuarios urbanos.

3.1. Análisis red de actores

El análisis de los actores, se lleva a cabo mediante la implementación de grupos focales para realizar un estudio contextual. Conocer la dinámica de los grupos es clave para recoger información de calidad y conseguir la participación de todos los asistentes.

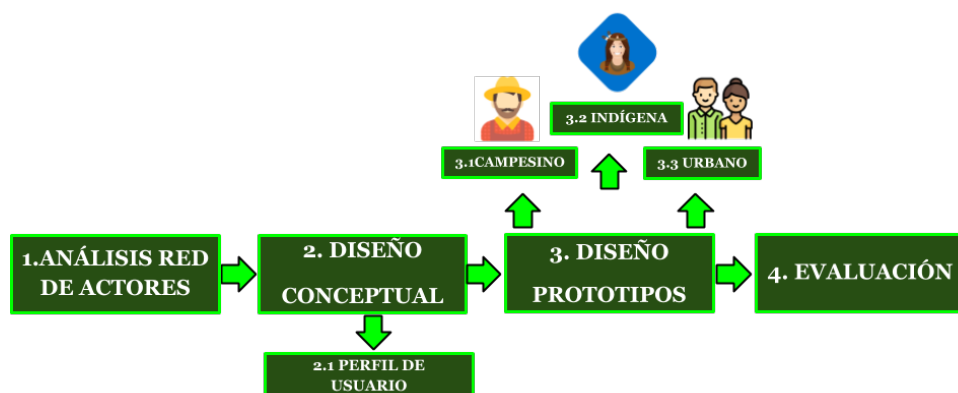


Figura 1 – Propuesta

Este estudio es realizado en campo y permite conocer a fondo los posibles usuarios, sus roles y actividades de toma de decisiones. El conocimiento de los usuarios y sus necesidades es primordial, en esta fase se utilizaron diversas técnicas como lluvia de ideas y entrevistas que permitieron establecer que los actores tienen un gran interés en la conservación de la cultura, sus creencias, costumbres pensamiento y cosmovisión. En este orden de ideas, el estudio de actores en el contexto cultural es primordial en la investigación por tal motivo, las personas que integran el caso de investigación son indígenas, campesinos y urbanos.

El principal interés de todos los usuarios a nivel funcional es el de sistematizar la información de todos los aspectos de su comunidad.

Dentro del framework, el análisis de los diferentes actores se resume en una descripción de los aspectos culturales de cada actor dentro del sistema.

Los actores identificados en esta fase fueron: (1) comunidad indígena yanacona de Pancitará, (2) campesinos del municipio de la Vega Cauca, (3) urbanos. Estos tres contextos proporcionan los diferentes perfiles en el sistema.

3.2. Diseño conceptual

Este diseño contó con la participación de la comunidad indígena, campesinos y urbanos del municipio de la Vega Cauca. Con el resultado del análisis de los actores se diseñó un sitio web, desarrollado para integrar ideas de diseño. Este fue centrado en los miembros del resguardo indígena yanacona de Pancitará, campesinos y urbanos, quienes aportaron su conocimiento en cuanto a sus costumbres, valores y creencias. La participación de personas el proceso de diseño es importante debido a que este se realiza partiendo desde el mundo real, de las necesidades, entendiendo la realidad del contexto, de igual manera permitió y facilitó interacción de mayor compromiso entre los usuarios y el grupo de desarrolladores, permitiendo de esta manera brindar las soluciones óptimas a las necesidades. Se encontró además que en el contexto se presentan unas restricciones técnicas como: Dificil acceso a internet, no se manejan celulares de alta gama, pocos usuarios tienen un computador, escaso conocimiento en TIC.

Para el diseño se realizaron lluvia de ideas y focus group, con lo cual se pudo definir cuantos Sprints de desarrollo para cada uno de los tres roles, lo cual se tradujo en diseños que fueron validados continuamente con los usuarios.

3.2.1. Perfil de usuario

Los perfiles de usuarios son técnicas que acercan a los usuarios a sus objetivos y situaciones, además sirven para y analizar los usuarios y el debido uso que hacen de los sistemas interactivos, aspectos útiles para orientar el diseño.

Para poder definir perfiles de usuario fue necesario haber realizado previamente un proceso de licitación de requisitos y análisis del usuario. Mediante los resultados de entrevistas, observaciones, encuestas y dinámicas de grupo, se analizaron y se adaptaron con el objetivo de crear modelados de usuario (Tabla 1 - 3).

Nombre	Descripción	Objetivos y restricciones
	Perfil indígena es una persona perteneciente, al cabildo indígena de Pancitará la Vega Cauca, es un líder el cual busca fortalecer la identidad yanacona en cuanto a sus creencias, cosmovisión y la recuperación de la lengua tradicional quechua. En algunas horas hace uso de redes sociales como WhatsApp y Facebook para comunicarse con las demás personas, además escribe informes en el computador de los acontecimientos de las reuniones de la corporación del cabildo.	- Disminuir el consumo de papel. - Llevar un control sistematizado de los datos de los comuneros del resguardo.
Edad: 35 años Profesión: Representante del cabildo	Personalidad Guerrero/ Perseverante	- Difícil acceso a las nuevas tecnologías

Tabla 1 – Perfil de usuario de Indígena Yanacona

Perfil	Descripción	Objetivos y restricciones
	El campesino de la vega Cauca, todos los días sale a las 5 de la mañana a labrar la tierra, se caracteriza por ser una persona trabajadora y amante a la agricultura, durante la cosecha de café no tiene tiempo de escribir los ingresos y los egresos de la finca cafetera, y también se le dificulta hacer operaciones matemáticas. En tiempos libres interactúa con el computador para leer, también maneja redes sociales para comunicar información relevante con personas de la asociación.	- Cualquier momento información ordenada y sistemática de su cultivo de café. - Disminuir la brecha digital.

Perfil	Descripción	Objetivos y restricciones
Edad: 45 años Profesión: Cafetero	Personalidad: Trabajador/Solidario.	La actividad contable suele gastar mucho tiempo

Tabla 2 – Perfil de usuario campesino.

Perfil	Descripción	Objetivos y restricciones
	Perfil de la zona urbana de la vega perteneciente a las Instituciones gubernamental (Alcaldía), se caracteriza por ayudar y estar pendiente de los indígenas y campesinos de la comunidad en cuanto a la gestión de proyectos comunitarios. En tiempos libres interactúa con el computador para leer, ver vídeos, escuchar música y manejar redes sociales.	- Disminuir estrés laboral. - Contribuir al progreso sostenible del municipio.
Edad: 30 años Profesión: Coordinador agropecuario	Personalidad: Solidario.	- Tiene muchos proyectos por gestionar.

Tabla 3 – Perfil de usuario Urbano.

3.3. Prototipos

Los diseños iniciales de prototipo fueron probados en el trabajo de campo realizado con la comunidad indígena yanacona, campesino y urbano, de esta forma el objetivo era recibir opiniones y del mismo modo retroalimentar cada prototipo. Se abordaron sugerencias en cada uno de los espacios de encuentro con los usuarios, en esta prueba el sistema está organizado (CENSO registro de comuneros, simbología yanacona, identidad campesina, protección del agua, minería).

La sesión de CENSO registro de comuneros consiste en realizar una sistematización de los datos de los miembros de la comunidad indígena, registrar por veredas a cada integrante de este contexto, de igual forma en esta sesión se establecen fortalecer la legua tradicional kichcwa ante esto se en el sistema se presenta unas palabras en lenguaje tradicional. En el apartado de simbología es esencial la diversidad puesto que permite identificarse como hijos y guardianes del Macizo Colombiano. En el apartado de la identidad campesina se resalta el sector agropecuario en cuanto al cultivo de café como fortalecimiento de una economía propia y sostenibilidad, por otra parte, el ambiente, el proceso que se lleva en protección del agua y la interrelación que existe entre campesinos e indígenas.



Figura 2 – Prototipo, simbología y cosmovisión yanacona

En la figura 2 se puede observar el prototipo de la simbología y la cosmovisión los cuales son elementos fundamentales en la identidad yanacona, este prototipo se estructuro con ideas y aportes de los usuarios En la figura 3 se puede observar el prototipo 1 de la comunidad campesina donde se presenta la barra de inicio de color verde, adaptando las ideas y sugerencias de los usuarios se presenta el prototipo 2 donde se adapta el color azul sugerido por campesinos debido a que los colores transmiten emociones y se identifican con el color azul por que representa el agua generadora de vida y además simboliza tranquilidad a la comunidad campesina.

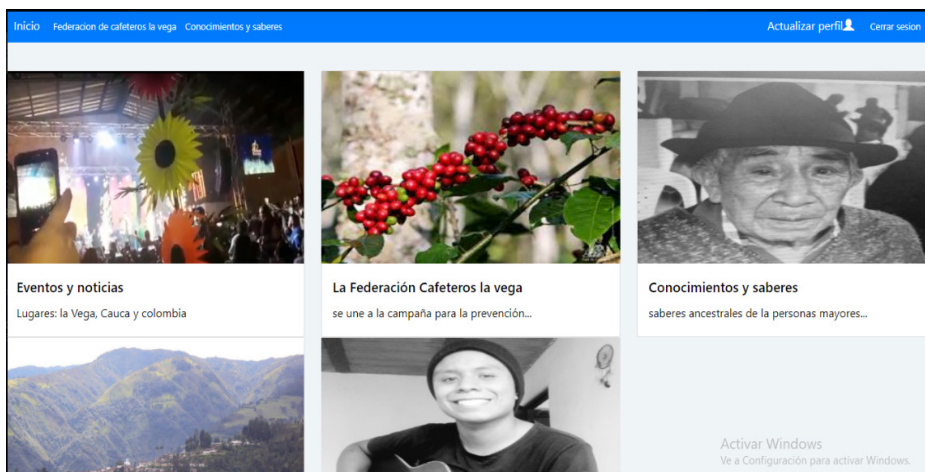


Figura 3 – Prototipo 1 comunidad campesina

El prototipo de la sociedad urbana presenta la funcionalidad de revisar los proyectos que son enviados por la comunidad indígena yanacona de Pancitará y campesinos del municipio de la vega, en primer lugar, se presentó un prototipo atendiendo a las sugerencias e ideas del usuario urbano se modificó la interfaz. El prototipo 1 de interfaz de inicio de sesión de los tres tipos de usuarios indígenas, campesinos y urbanos, en primer lugar, los usuarios reconocen que el prototipo está en sus inicios y se sienten libres para opinar y hacer recomendaciones constructivas. Se realizaron diversos cambios durante el diseño, después de varias iteraciones y diseños en papel, se presentó un escenario en el cual los 3 usuarios del sistema aportaron ideas que deberían implementar imágenes representativas de cada uno de sus contextos en el prototipo de interfaz de inicio de sesión como se puede observar en la figura 4.

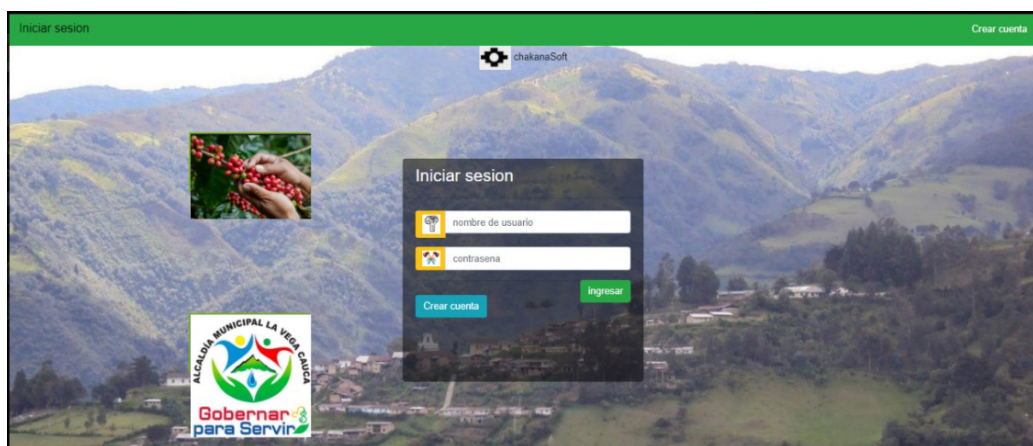


Figura 4– Prototipo 1, interfaz de diseño multicultural

3.5. Evaluación

Un elemento fundamental en el sistema, es la usabilidad, entendida como la experiencia del usuario al interactuar con el sistema, en este orden de ideas para este proceso se desea evaluar el prototipo “DISEÑO PLURICULTURAL CENTRADO EN EL USUARIO DE UN SISTEMA DE CENSO INDÍGENA.” Por medio de las diez heurísticas de Nielsen descritas en la evaluación, para contribuir a la evaluación se emplea la eficiencia la cual está relacionada en el logro de metas cumplidas por los usuarios, para evaluar la satisfacción o comodidad al utilizar la plataforma se emplea la técnica de encuesta. En la investigación se emplea un estudio de caso que consiste en la creación de un software con diseño centrado en el usuario, para este proceso se utilizó una muestra total es N=40 personas la cual es conformada por indígenas yanaconas del resguardo de Pancitará, campesinos del municipio de la vega y urbanos ver Tabla 4.

Población	Muestra
Miembros del cabildo yanacona de Pancitará. Autoridad tradicional.	20
Campesinos del municipio de la vega.	16
Urbanos.	4

Tabla 4 – Muestra de población

En cuanto a la población en la comunidad indígena yanacona de Pancitará se implementó el software con una vereda del resguardo censando a 54 familias pertenecientes a dicho contexto. Para la recolección de información de la presente investigación se utilizó la técnica de la encuesta.

El instrumento que se utilizó en la investigación consiste en un cuestionario, para medir la usabilidad del sistema, la estructuración del instrumento se tomó en cuenta aspectos basados en las heurísticas de Nielsen.

3.5.1. Evaluación de heurísticas de Nielsen

Para medir la eficacia se emplean las heurísticas de Nielsen, en esta evaluación participaron 5 expertos de la Fundación Universitaria de Popayán.

Cod.	Descripción	Primera evaluación		Segunda evaluación	
		SI	NO	SI	NO
H1	Los tiempos de respuesta son razonables	80%	20%	100%	0%
H2	El sistema usa palabras, frases y conceptos familiares al usuario.	80%	20%	100%	0%
H3	Existe una salida de emergencia al realizar algún proceso. (Cancelar, desconectar, volver al inicio).	60%	40%	100%	0%
H4	Los símbolos utilizados son comprensibles para el usuario y facilitan la interacción con el sistema.	80%	20%	100%	0%
H5	Se le pide confirmación al usuario antes de realizar una acción crítica (cancelar, eliminar, aceptar).	60%	40%	100%	0%
H6	Los principales controles de interfaz, entre otros, están siempre disponibles, visibles y son de fácil acceso.	80%	20%	100%	0%
H7	El sistema es personalizable, de acuerdo a las necesidades, características, preferencias personales, etc., de los usuarios.	80%	20%	100%	0%
H8	La interfaz del sistema es simple para realizar una acción.	60%	40%	100%	0%

Cod.	Descripción	Primera evaluación		Segunda evaluación	
		SI	NO	SI	NO
H9	Los mensajes de error son comprensibles para el usuario. Están escritos en lenguaje común, sin códigos ni lenguaje técnico.	60%	40%	100%	0%
H10	En el sistema existe ayuda contextual que guía al usuario respecto al uso de los distintos elementos existentes.	80%	20%	100%	0%

Tabla 5 – Heurísticas de Nielsen, aplicadas con expertos.

En la tabla 5 se presentan los resultados de la evaluación realizada con los expertos, donde se aplicó las heurísticas, se puede determinar que en la primera evaluación se presenta dificultad en la forma de interactuar con la plataforma.

Para la segunda evaluación se realizaron modificaciones sugeridas por los expertos en la primera evaluación.

3.5.2. Evaluación del sistema aplicando tareas

Para realizar la evaluación de la plataforma diseñada, se plantea tareas grupales e individuales considerando la interacción con el fin de observar el comportamiento de los usuarios. Además, las pruebas de usabilidad están relacionada con tareas en las cual se determina un tiempo estimado por los investigadores.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba, se obtuvo un tiempo promedio en desarrollo de cada una de las tareas como se describe en la tabla 6.

Id	Tarea	Descripción	Tiempo sugerido	Tiempo promedio
T1	Registrar usuario e inicio de sesión.	Los usuarios deben registrarse para poder iniciar sesión.	5	4,91
T2	Registrar Censo indígena.	Los representantes del cabildo deben registrar los comuneros pertenecientes al resguardo por familia.	15	15,31
T3	Gestionar proyecto.	Los usuarios deben diligenciar los debidos espacios para crear proyectos comunitarios.	20	16,7
T4	Crear eventos.	Los usuarios deben crear eventos comunitarios de intercambio de conocimientos.	5	7,65

Id	Tarea	Descripción	Tiempo sugerido	Tiempo promedio
T5	Registrar cosecha (café).	El usuario debe diligenciar los datos de la cosecha y sus ingresos y egresos.	20	16,91
T6	Revisar proyecto.	El usuario debe revisar y aprobar los proyectos gestionados.	10	8,65

Tabla 6 – Descripción de tareas.

Partiendo de los datos obtenidos se estableció tres intervalos que permiten agrupar los resultados en tres diferentes categorías (Reyes Vera, Berdugo Torres, and Villegas 2016). En la tabla 7 se muestra la ecuación donde X es el valor en minutos sugerido por los expertos y Z es el tiempo promedio obtenido en minutos.

Excelente	Aceptable	Deficiente
$Z \leq X - 2$	$(X - 2) \leq Z \leq (X + 2)$	$Z \geq X + 2$

Tabla 7 – Rango de eficiencia.

Tiempo promedio en minutos	Valor x	Definición
4,91 (T1)	5	Aceptable.
15,31 (T2)	15	Aceptable
16,7 (T3)	20	Excelente.
7,65 (T4)	5	Deficiente.
16,91 (T5)	20	Excelente.
8,65 (T6)	10	Aceptable.

Tabla 8 – Relación tiempo y definición.

Las tareas planteadas anteriormente se desarrollaron con 20 usuarios como se observa en la tabla 8 donde el 50% eran indígenas yanaconas, el 40% campesinos caficultores y el 10% urbanos empleados de la Alcaldía municipal de la Vega-Cauca, en general pueden ser desarrolladas de modo eficiente y además permite cumplir el objetivo que el usuario interactúe con la plataforma.

4. Conclusiones y Recomendaciones

En este trabajo de investigación se presentó un framework pluricultural donde se abordaron diferentes etapas diseño, el análisis de los aspectos culturales encontrados en los diferentes contextos comunitarios fueron de gran aporte para esquematizar la estructura del marco de trabajo, en este orden de ideas la implementación del estado del arte como metodología de investigación, fue esencial en el trabajo debido que apporto a comprender los diversos conceptos, los cuales fueron gran aporte en la investigación desarrollada, las técnicas y herramientas utilizadas permitieron cumplir con los objetivos deseados. De igual manera al aplicar metodologías de desarrollo ágil adaptadas a los contextos donde fueron aplicadas.

El interactuar con comunidades de diferentes culturas como indígenas campesinos y urbanos fue muy importante para el diseño, el conocer sus creencias, su forma de gobernar, de pensar y de interactuar con el mundo real. Aunque el DCU en gran parte es útil para diseñar prototipos con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios, este no garantiza el éxito por si solo en el campo de brindar soluciones a sus problemáticas, se puede deducir que los diseñadores deben de conocer el contexto social de los usuarios, relacionarse en su diario vivir para comunicar ideas intercambiar conocimientos con el objetivo de que el usuario esté presente en todo el proceso de diseño.

Igualmente, se encontró que la evaluación y seguimiento del software es uno de los elementos que permitieron identificar errores y conocer si satisface las expectativas propuestas por el usuario. Durante el proceso de evaluación se aplicaron diversas evaluaciones con los usuarios finales, esta realimentación fue muy importante para mejorar la calidad del software desarrollado.

Como trabajo futuro se busca utilizar el framework propuesto para extender la plataforma desarrollada en con otras culturas e implementarla con otros pueblos ancestrales del sur del Cauca, con el fin de observar los diferentes elementos en cuanto a sus conocimientos y creencias. Igualmente, se busca incluir en la investigación más expertos en lengua tradicional, con el fin de adaptar un framework en cuanto al fortalecimiento de la misma. Finalmente, se busca usar el framework propuesto en distintos entornos sociales como educación, salud, ambiente y la cultura.

Referencias

- Bernal Camargo, Diana Roció, and Axel David Murillo Paredes. (2012). “El Acceso de Los Pueblos Indígenas a Las Tecnologías de La Información y La Comunicación En Colombia: ¿Inclusión o Exclusión Social y Política? The Access of Indigenous Peoples to Information and Communication Technologies in Colombia: Inclusión or So.” *Derecho y Realidad*: 193–214.
- Bozzelli, Guido et al. (2019). “An Integrated VR/AR Framework for User-Centric Interactive Experience of Cultural Heritage: The ArkaeVision Project.” *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 15(November).

- Konstantakis, Markos et al. (2017). "Formalising and Evaluating Cultural User Experience." *Proceedings - 12th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization, SMAP 2017* (July): 90–94.
- Kübler, Andrea et al. (2014). "The User-Centered Design as Novel Perspective for Evaluating the Usability of BCI-Controlled Applications." *PLoS ONE* 9(12): 22.
- Reyes Vera, Javier M., Martha Isabel Berdugo Torres, and Liliana Machuca Villegas. (2016). "Evaluación de Usabilidad de Un Sistema de Administración de Cursos Basado En La Plataforma Lingweb." *Ingeniare* 24(3): 435–44.
- Stara, Vera et al. (2018). "Does Culture Affect Usability? A Trans-European Usability and User Experience Assessment of a Falls-Risk Connected Health System Following a User-Centred Design Methodology Carried out in a Single European Country." *Maturitas* 114: 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.05.002>.
- Vargas, Guadalupe. (2016). "La Cosmovisión de Los Pueblos Indígenas." *cultura y historia*. vol 2: 109–26. [www. uv. mx/blgs/iihs/investigadores/199-2](http://www.uv.mx/blgs/iihs/investigadores/199-2) (2016).
- Zulkafli, Zed et al. (2017). "User-Driven Design of Decision Support Systems for Polycentric Environmental Resources Management." *Environmental Modelling and Software* 88: 58–73.

Aplicación de la metodología SMED en proceso de cambio de matrices en la industria metalmecánica: Caso Ecuador

Ana B. Domínguez¹, Daysi M. Ortiz, Israel E. Naranjo, Jéssica M. Lluga

adominguez3579@uta.edu.ec; dm.ortiz@uta.edu.ec; ie.naranjo@uta.edu.ec;
jlluga4198@uta.edu.ec

Universidad Técnica de Ambato, UTA, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Campus Huachi Chico, 180103, Ambato, Ecuador.

Pages: 140–152

Resumen: Este manuscrito presenta información acerca de la aplicación de la metodología “Single Minute Exchange of Die” (SMED) en prensas hidráulicas y troqueladoras en la industria de producción de artículos variados de metalmecánica. El trabajo resulta de un proyecto de titulación de pregrado efectuado en un periodo de seis meses en donde se desarrolló la metodología para el cambio de matrices mediante sus diferentes etapas que conllevan a perfeccionar las actividades que se realizan con la máquina en funcionamiento, aplicando 5´S y las desarrolladas con la máquina parada a través de operaciones en paralelo. Los principales resultados obtenidos fueron la reducción del porcentaje promedio del tiempo de preparación de maquinaria en un 66.29% convirtiéndolo en tiempo productivo, y la mejora promedio de la capacidad de producción en un 28.91%.

Palabras-clave: SMED; tiempo de preparación; manufactura esbelta; capacidad de producción.

Application of SMED methodology in change of die in the formed area: Ecuador case

Abstract: This manuscript presents information about the application of the methodology “Single Minute Exchange of Die” (SMED) in hydraulic presses and die-cutting machines in the industry of production of various metalworking articles. The work is the result of an undergraduate degree project carried out in a six-month period in which the methodology for die change was developed through its different stages that lead to the perfection of the activities carried out with the machine in operation, applying 5´S and those developed with the machine stopped through parallel operations. The main results obtained were the reduction of the average percentage of machinery preparation time by 66.29%, converting it into productive time, and the average improvement in production capacity by 28.91%.

Keywords: SMED; set up; lean manufacturing; capacity of production.

1. Introducción

El comportamiento de las industrias se ve influenciado por las necesidades del mercado manteniendo en firme el propósito de satisfacer la demanda de productos; por lo que, cada organización debe producir en la cantidad y calidad requerida demostrando así su nivel de competitividad. Existen diversas estrategias, metodologías y herramientas que permiten responder a las diferentes situaciones para que la empresa alcance una mayor flexibilidad y pueda brindar un mejor servicio (Cuatrecasas, 2018).

En Ecuador las compañías metalmecánicas son de gran importancia pues forman parte del motor de progreso de la economía del país aportando con un 1.8% del producto interno bruto de acuerdo a la Federación de Industrias del Metal, de ahí la responsabilidad de buscar nuevas alternativas que se adopten al nivel de su realidad y permitan generar una mayor producción nacional e internacional (Mantilla, 2017).

Uno de los modelos de gestión que facilita este proceso es la Manufactura Esbelta pues su filosofía consiste en eliminar aquellas actividades que no agregan valor al proceso, producto y por lo tanto al servicio. Se aplica de acuerdo con las necesidades que se presenten las herramientas que más se adapten al caso, en donde la empresa pueda realizar más con menos esfuerzo humano, equipos, tiempo y espacio. Además, presenta diversos beneficios como la mejora de productividad y reducción de desperdicios los cuales permiten una correcta optimización en los sistemas de producción (Hernández, 2015).

Basado en lo anterior, el punto en el cual se centra este estudio es en la aplicación de la metodología SMED para los procesos de cambio de matriz dentro de la industria metalmecánica pues esta herramienta permite reducir los tiempos de cambio de dados, troqueles, matrices y moldes contribuyendo a la reducción de desperdicios, por lo que se deben identificar las actividades que se realizan con la máquina parada y en funcionamiento, de esta manera se desarrolla de forma correcta cada etapa que conlleva esta metodología (Barrionuevo, 2017).

Alonso y Hernández (2015) mencionan que SMED es un método probado que consigue dar buenos resultados en un escenario donde la máquina está involucrada directamente con el proceso. El seguimiento de las diferentes etapas no es complicado, aunque no siempre serán alcanzables los resultados previstos, pero si se reducirá de forma evidente los tiempos de intervención. Para las empresas que han aplicado esta metodología coinciden que, el tiempo de preparación de máquinas a reducido y de este modo las líneas de producción tienen una mayor disponibilidad, por lo que se puede trabajar con tamaños de lotes pequeños en donde se asegura los tiempos de entrega de los productos.

Por otra parte, Klever Villacís y Álvaro Verdezoto (2019) mencionan que para aplicar la metodología mencionada se considera dividir las operaciones de preparación en dos partes: la primera contiene la preparación interna lo que hace referencia a trabajar con la máquina parada y preparación externa que se refiere a las actividades que se realizan mientras la máquina está en funcionamiento. Las cuatro etapas principales de SMED, se pueden resumir de la siguiente manera: etapa preliminar en donde se estudia la operación de cambio, etapa de separación de actividades internas y externas, etapa de conversión de las actividades internas a externas, y finalmente la etapa de perfeccionar las actividades de operación (Costa *et al.*, 2013).

Este trabajo busca reducir el tiempo de cambio de matrices mediante la aplicación de la metodología SMED en las máquinas prensa hidráulica y troqueladoras para los procesos de conformado de la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda. reduciendo de esta manera el tiempo de preparación de máquinas y aumentando así su capacidad de producción.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: como apertura se encuentra la introducción a la temática juntamente con el objetivo del estudio. La sección 2 presenta la revisión a la literatura, en la sección 3 se plantea el caso de estudio mientras que el desarrollo de la propuesta se menciona en la sección 4. La sección 5 presenta la aplicación de la metodología SMED con sus diferentes etapas, la sección 6 describe los resultados obtenidos y las conclusiones establecidas en la investigación en la sección 7.

2. Revisión de la literatura

Es importante analizar escritos publicados en el área de estudio, en este sentido, Marie Issamar (2019) realiza una recopilación de las herramientas Lean Manufacturing que inciden en la productividad de las empresas, mencionando al SMED entre una de ellas y necesaria cuando en una misma línea o máquina se fabrican varios tipos de productos, pues al acortarse el tiempo de cambio de herramienta, se mejora la productividad. Además, menciona que el mayor beneficio se observa en el incremento del desempeño operacional, al reducirse los costos de producción.

La aplicación de SMED es una muestra de las ventajas y beneficios que se adquieren al aplicar herramientas Lean en empresas manufactureras, pues la reducción del tiempo inactivo extiende el tiempo de producción y las actividades que agregan valor, aumentando la capacidad, utilización y disponibilidad de los recursos (Stuglik, Gródek-Szostak and Kajrunajtys, 2019), este tipo de herramientas correctamente aplicadas mejoran los sistemas industriales, rediseñando herramientas, soportes, componentes y actividades propias de las operaciones. Investigaciones similares recalcan el ahorro generado en tiempo y mejora de procesos (Trombeta *et al.*, 2020).

Moreira and Pais (2015) explican la relación del cambio de troquel para empresas que trabajan con maquinaria, la cual menciona que la aplicación de la metodología SMED permite la disminución de tiempos de configuración de la maquinaria, siendo posible sustentar que el cambio de procesos simples como la separación de actividades internas y externas se encuentra entre los procedimientos clave para mejorar la productividad.

Para Monteiro et al. (2019) la implementación de la herramienta SMED permite reducir los tiempos de puesta a punto en empresas metalmecánicas, la cual requiere la participación del personal operativo y una baja inversión económica para generar altas ganancias y aumento en la productividad. Entre las propuestas se desacan la aplicación de actividades en paralelo, mejoras de los bancos de trabajo y cambio de lugar de elementos necesarios para el set up.

La metodología SMED requiere de la reorganización del trabajo, capacitación y la implementación de un método sistemático y eficaz para la realización de las distintas operaciones que se ejecutan, cambiando actividades internas a externas (Tiago Bidarra, 2018). Wang, Chiou and Luong (2019) enfatizan que los rápidos cambios en la demanda

de los consumidores determinan el modelo de producción, consecuentemente se aplica la metodología SMED con el objetivo de reducir el tiempo de preparación de máquina y aumentar la frecuencia de cambio de modelo para producir una mezcla alta de productos con una demanda de bajo volumen.

Finalmente Basri et al. (2019) muestran un “Embedded SMED” el cual basado en el SMED tradicional toma criterios de herramientas Lean como Value Stream Mapping (VSM), Plan-DoCheck-Act (PDCA), 5’S y Diseño de estaciones de trabajo, generando un enfoque más completo para la solución a la problemática que puede presentar el set up de máquinas y equipos.

3. Caso de estudio

Este trabajo está centrado en la aplicación de la metodología SMED, tomando a la industria de producción de elementos metalmecánicos y como referencia la empresa ecuatoriana Ecuamatrix Cía. Ltda. Esta organización cuenta con prensas hidráulicas y prensas troqueladoras que están en constante cambio de matriz para la fabricación de sus productos por lo que se requiere que los tiempos de preparación de maquinaria sean mínimos y permitan una producción ágil con mayor participación.

Se selecciona la herramienta SMED para el caso de estudio pues se enfoca en la mejora del tiempo de cambio de matrices permitiendo el máximo aprovechamiento de la maquinaria, garantizando además una mayor flexibilidad al momento de trabajar con lotes pequeños de producción variada, dado que los tiempos de preparación de maquinaria son elevados con respecto a los de procesamiento, mermando de manera significativa la capacidad de producción del sistema.

La ejecución del caso de estudio se llevó a cabo mediante una modalidad de investigación bibliográfica que respalda y sustenta la metodología a usarse, además de la investigación de campo y aplicada que permita el contacto directo con el problema y se lo pueda solucionar mediante estrategias y herramientas.

La aplicación de SMED requiere una interacción directa entre el analista y los procesos ya sean de cambio de matriz o productivos para lo cual se realizó un estudio de tiempos y movimientos pues permiten establecer estándares y las diferentes capacidades de producción. La figura 1 muestra cómo la disminución de tiempo de cambio se convierte en tiempo disponible para generar una mayor capacidad de producción.

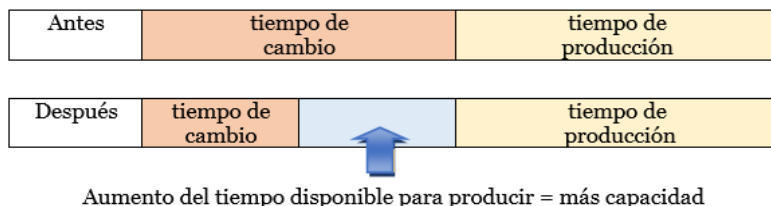


Figura 1 – Metodología SMED

4. Desarrollo del caso de estudio

La aplicación de la metodología SMED se enfoca en el producto que representa mayores ganancias para la empresa pues los beneficios obtenidos serán más significativos; en este caso el producto corresponde a una caja metálica bifásica con medidas de (300*200*100) mm la cual ha generado una participación del 27.96% en el periodo enero – junio 2019.

4.1. Tiempos de preparación de maquinaria

En relación con el producto seleccionado se identifica el proceso de fabricación en el área de conformado y la maquinaria que interviene. A continuación, en la figura 2 se observa los valores correspondientes a los tiempos estándar de preparación de maquinaria también denominados tiempo de set up, es importante resaltar que el cambio de matriz es realizado por un solo operador durante todo el proceso.

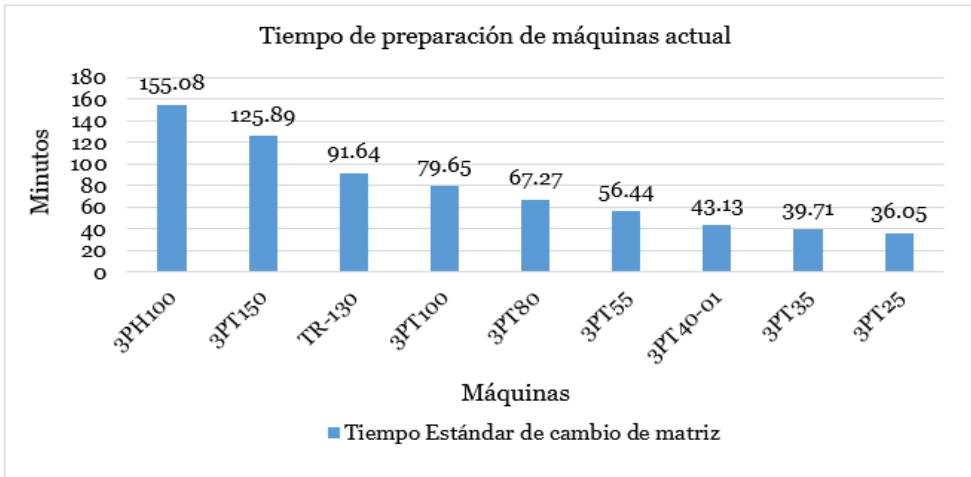


Figura 2 – Tiempos estándar actual para el cambio de matrices

4.2. Tiempos de procesamiento y capacidad de producción

Se calcula los tiempos estándar para cada proceso productivo con el objeto de conocer cuál es la capacidad de producción diaria, considerando el tiempo de preparación de maquinaria y un tamaño de lote de 300 unidades. Para mostrar el análisis de influencia que tiene el tiempo de preparación en el tiempo de ciclo estándar de la operación se utiliza la ecuación (1) donde:

$$\text{Tiempo total de operación} = \frac{\text{T. de preparación}}{\text{Tamaño de lote}} + \text{T. ciclo de operación} \quad (1)$$

La capacidad de producción se define como la cantidad de componentes que se pueden procesar en un determinado tiempo, la ecuación (2) permite conocer las unidades fabricadas al día para cada componente de la caja metálica bifásica de (300*200*100) mm.

$$\text{Capacidad de producción} = \frac{1}{\text{T. estándar}} \times \text{T. disponible de producción} \quad (2)$$

En la tabla 1 se establece un resumen con todos los cálculos predeterminados del tiempo de preparación de maquinaria, tamaño de lote, tiempo ciclo de operación, tiempo total de operación y capacidad de producción.

N.	Nombre	Proceso	Tiempo de Preparación (min)	Tamaño de lote (unidades)	Ciclo de operación (min/unidad)	Tiempo total de operación (min/unidad)	Tiempo total de operación (h/unidad)	Cp (unidades /día)
1		Embutido	155.08	300	0.75	1.27	0.0211	379
2		Corte de Exceso	125.89	300	0.67	1.09	0.0182	441
3		Perforado general	79.67	300	0.59	0.86	0.0143	561
4	Base Metálica	Perforado lateral y frontal	67.27	300	0.68	0.90	0.0151	531
5		Estampado de trazabilidad	56.44	300	0.38	0.57	0.0095	845
6		Troquelado aireadores	67.27	300	0.5	0.72	0.0121	663
7	Ángulo de Seguridad	Cortado, perforado y doblado	91.66	300	0.3	0.61	0.0101	793
8	Riel	Doblado de forma	43.13	300	0.23	0.37	0.0062	1284
9	Monofásico	Perforado	39.71	300	0.23	0.36	0.0060	1325
10	Rejilla Metálica	Perforado general	43.13	300	0.32	0.46	0.0077	1035
11		Doble	39.71	300	0.29	0.42	0.0070	1136
12		Embutido	155.08	300	0.68	1.20	0.0199	401
13		Corte de exceso	125.89	300	0.67	1.09	0.0182	441
14		Rebordeado	91.66	300	0.6	0.91	0.0151	530
15	Tapa Metálica	Perforado de ventana y compuerta	67.27	300	0.55	0.77	0.0129	620
16		Estampado de logo EM	43.13	300	0.35	0.49	0.0082	972
17		Estampado logo cliente	79.67	300	0.38	0.65	0.0108	744
18		Perforado tubo de seguridad	36.05	300	0.36	0.48	0.0080	1000
19	Compuerta Metálica	Troquelado de forma	39.71	300	0.23	0.36	0.0060	1325
20		Doblado	43.13	300	0.21	0.35	0.0059	1357

N.	Nombre	Proceso	Tiempo de Preparación (min)	Tamaño de lote (unidades)	Ciclo de operación (min/unidad)	Tiempo total de operación (min/unidad)	Tiempo total de operación (h/unidad)	Cp (unidades /día)
21	Tubo de Seguridad	Doblado	39.71	300	0.17	0.30	0.0050	1587
22		Perforado	36.05	300	0.21	0.33	0.0055	1454
23	Ángulo de Compuerta	Troquelado de forma	56.44	300	0.21	0.40	0.0066	1206
24		Doblado	36.05	300	0.17	0.29	0.0048	1654

Tabla 1 – Cálculo de capacidad de producción

5. Aplicación de la metodología SMED

Se realiza un análisis detallado de las actividades ejecutadas en el cambio de matriz, para lo cual se hace uso de técnicas como fotografías, videos, entrevistas y análisis con cronómetro como una etapa preliminar para el estudio de las operaciones de cambio.

5.1. Etapa 1: Separar actividades internas y externas

Es clave identificar y clasificar las actividades que se realicen con la máquina apagada es decir actividades internas y las que se efectúen con la máquina encendida también conocidas como actividades externas. Para lo cual es útil que se maneje herramientas que faciliten este proceso:

- Hoja de Verificación que especifiquen las herramientas y pasos necesarios para realizar la preparación de maquinaria, se debe tener en cuenta el cumplimiento de todos los puntos mencionados.
- Hoja de proceso con la clasificación de las actividades durante el cambio de matriz según el funcionamiento de cada máquina.

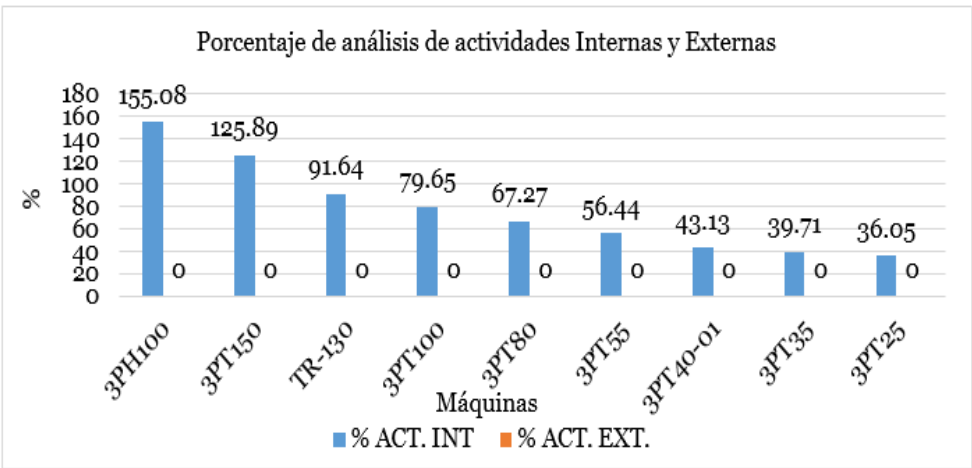


Figura 3 – Porcentaje de análisis de actividades Internas y Externas

Como resumen de la etapa preliminar la figura 3 muestra el análisis de las actividades internas y externas, en donde se aprecia que todas las tareas de preparación previa, desmontaje, montaje y calibración son realizadas con la máquina apagada.

5.2. Etapa 2: Convertir actividades internas a externas

En esta etapa se examinó la posibilidad de convertir las actividades internas en externas mediante los recursos disponibles de la empresa, pues se busca reducir tanto el tiempo de preparación de maquinaria como las actividades innecesarias. Lo antes mencionado requiere de un trabajo minucioso pues para este caso se debe:

- Terminar las actividades de preparación previa antes del cambio de matrices.
- Utilizar marcas visuales en los equipos empleados (coches de herramientas).
- Eliminar tiempos empleados en la búsqueda de herramientas.

El análisis porcentual de la conversión de actividades internas a externas para cada maquinaria implicada en el proceso de elaboración de la caja metálica bifásica se muestra la figura 4.

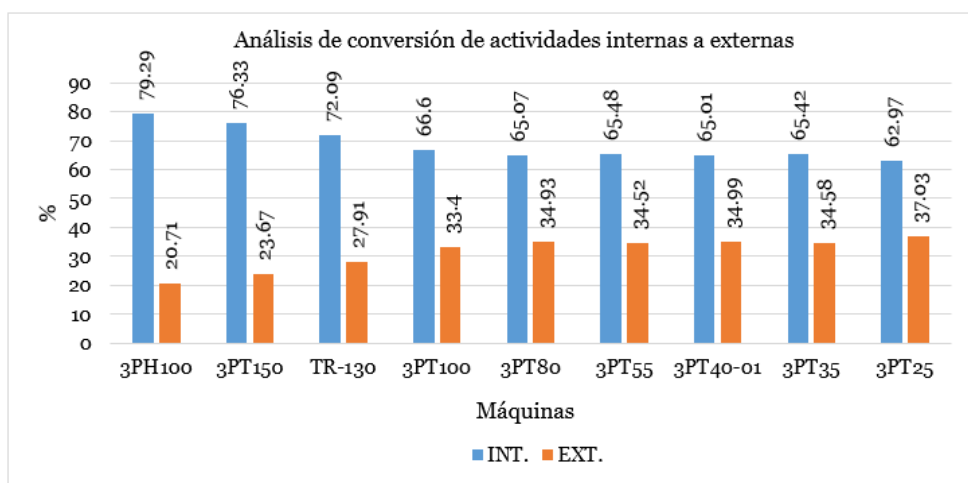


Figura 4 – Análisis de conversión de actividades internas a externas

5.3. Etapa 3: Perfeccionar actividades internas y externas

En esta etapa es necesario identificar metodologías que aporten al perfeccionamiento de las actividades internas y externas. Cualquier mejora aplicada deberá ejecutarse de manera sostenible evitando así la pérdida de la productividad conseguida. Respecto a las actividades externas las estrategias aplicadas se centraron en mejorar el almacenamiento y localización de las herramientas utilizadas en el proceso de preparación de maquinaria pues se debe garantizar la disponibilidad de estas. En este caso se optó por la metodología de las 5 S's como herramienta de lean manufacturing que apoya al SMED.

Esta técnica se aplicó en los coches herramientas *clasificando* las herramientas que son necesarias y reubicando aquellas que no lo son; *ordenando* en un lugar específico

con el fin de identificar rápidamente las herramientas que se necesitan; *limpiando* toda fuente de suciedad y fomentando hábitos que permitan un mejor mantenimiento de los coches; *estandarizando* a través controles visuales como carteles que informen al trabajador acerca de las herramientas presentes en los diferentes coches; y finalmente *manteniendo* lo establecido anteriormente conjuntamente con actividades de mejora continua como: devolver los instrumentales a su puesto, realización de recorridos por parte de los jefes para mayor control de los coches de herramientas, publicaciones sobre cambios que existan en el área para motivar a los operarios.

En cuanto a las actividades internas se optó por ejecutar *operaciones en paralelo* entre el operador y el líder encargado del área con el propósito de reducir el tiempo de preparación de la máquina. La figura 5 muestra el tiempo establecido para el set up de máquina.

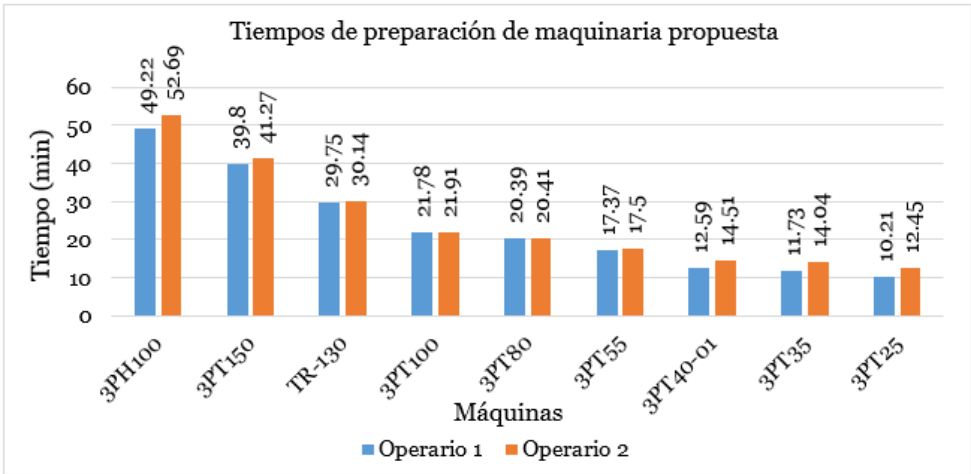


Figura 5 – Tiempos de preparación de maquinaria propuesta

6. Evaluación de Resultados

Con los nuevos tiempos para la preparación de maquinaria se obtiene una reducción del 66.29% del tiempo de preparación promedio como se observa en la tabla 2.

Reducidos los tiempos de cambio de matriz en los procesos de conformado, el tiempo ahorrado pasa a ser productivo, por lo que se presenta la ecuación (3) para el cálculo de porcentaje de mejora de la Capacidad de Producción en donde:

$$\% \text{ Cp mejorada} = \frac{\text{Cp propuesta} - \text{Cp inicial}}{\text{Cp inicial}} \times 100\% \tag{3}$$

N.	Nombre	Proceso	Máquina	Set Up (min)	Set Up Propuesto (min)	% de Reducción
1	Base Metálica	Embutido	3PH10	155.08	52.69	66.02
2		Corte de Exceso	3PT150	125.89	41.27	67.22
3		Perforado general	3PT100	79.67	21.91	72.50
4		Perforado lateral y frontal	3PT80	67.27	20.41	69.66
5		Estampado de trazabilidad	3PT55	56.44	17.50	68.99
6		Troquelado aireadores	3PT80	67.27	20.41	69.66
7	Ángulo de Seguridad	Cortado, perforado y doblado	TR-130	91.66	30.14	67.12
8	Riel Monofásico	Doblado de forma	3PT40-01	43.13	14.51	66.36
9		Perforado	3PT35	39.71	14.04	64.64
10	Rejilla Metálica	Perforado general	3PT40-01	43.13	14.51	66.36
11		Doble	3PT35	39.71	21.91	44.82
12	Tapa Metálica	Embutido	3PH100	155.08	52.69	66.02
13		Corte de exceso	3PT150	125.89	41.27	67.22
14		Rebordeado	TR-130	91.66	30.14	67.12
15		Perforado de ventana y compuerta	3PT100	67.27	21.91	67.43
16		Estampado de logo EM	3PT40-01	43.13	14.51	66.36
17		Estampado logo cliente	3PT100	79.67	21.91	72.50
18		Perforado tubo de seguridad	3PT25	36.05	12.45	65.46
19	Compuerta Metálica	Troquelado de forma	3PT35	39.71	14.04	64.64
20		Doblado	3PT40-01	43.13	14.51	66.36
21	Tubo de Seguridad	Doblado	3PT35	39.71	14.04	64.64
22		Perforado	3PT25	36.05	12.45	65.46
23	Ángulo de Compuerta	Troquelado de forma	3PT55	56.44	17.50	68.99
24		Doblado	3PT25	36.05	12.45	65.46
% promedio de reducción del tiempo de preparación de maquinaria						66.29

Tabla 2 – Porcentaje promedio de reducción del tiempo de preparación de maquinaria

Como resultado se obtiene un aumento de la capacidad de producción, en un 28.91% en promedio, información mostrada en la tabla 3.

N.	Nombre	Proceso	Cp Real (unidades/día)	Cp Propuesta (unidades/día)	Δ de Cp Mejorada	% de Cp Mejorada
1	Base Metálica	Embutido	379	519	140	36.94
2		Corte de Exceso	441	594	153	34.69
3		Perforado general	561	724	163	29.06
4		Perforado lateral y frontal	531	642	111	20.90
5		Estampado de trazabilidad	845	1095	250	29.59
6		Troquelado aireadores	663	845	182	27.45
7	Ángulo de Seguridad	Cortado, perforado y doblado	793	1199	406	51.20
8	Riel Monofásico	Doblado de forma	1327	1724	153	11.53
9		Perforado	1366	1734	368	26.94
10	Rejilla Metálica	Perforado general	1062	1303	241	22.69
11		Doblez	1167	1322	155	13.28
12	Tapa Metálica	Embutido	401	561	160	39.90
13		Corte de exceso	441	594	153	34.69
14		Rebordeado	530	685	155	29.25
15		Perforado de ventana y compuerta	620	770	150	24.19
16		Estampado de logo EM	996	1205	209	20.98
17		Estampado logo cliente	960	1060	100	10.42
18		Perforado tubo de seguridad	1000	1196	196	19.60
19	Compuerta Metálica	Troquelado de forma	1366	1734	368	26.94
20		Doblado	1404	1858	454	32.34
21	Tubo de Seguridad	Doblado	1648	2214	566	34.34
22		Perforado	1454	1909	455	31.29
23	Ángulo de Compuerta	Troquelado de forma	1206	1789	583	48.34
24		Doblado	1654	2270	616	37.24
% promedio de capacidad de producción mejorada						28.91

Tabla 3 – Porcentaje promedio de capacidad de producción mejorada

7. Conclusiones

SMED es una técnica ideal para cualquiera empresa que busque reducir tiempos y evitar desperdicios, mejorando de esta manera el proceso productivo de sus productos, puesto que al existir una reducción en tiempos de cambio permite una minimización en los tamaños de lotes generando respuestas más rápidas para los clientes.

Este estudio demostró que, la aplicación de la metodología SMED a través de sus diferentes etapas secuenciales y el conocimiento detallado del proceso a mejorar permite la disminución del tiempo de preparación de maquinaria y lo convierte en productivo, en el caso del estudio planteado el promedio de reducción fue del 66.29%.

Por otro lado, se logró una mejora en la capacidad de producción, siendo esta del 28.91% en promedio, lo cual resulta muy favorable para cualquier organización debido a la influencia que tiene el tiempo de ciclo y los tiempos de preparación de maquinaria respecto a la capacidad de producción.

Como trabajo a futuro se prevé el uso de un software de simulación de diferentes escenarios de manufactura, agilizando de esta manera los resultados del estudio y reduciendo la dependencia directa del sistema real.

Referencias

- Alonso and Hernández, H. E. (2015). *Optimización de Operaciones Mediante la Técnica SMED en una Empresa de Envases Metálicos* Operations Optimization using SMED Technique in a Can Manufacturer. España. Available at: http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2012/SP_o8_Lean_Manufacturing_y_Mejora_Continua/1534-1541.pdf.
- Barrionuevo, M. (2017). *Integración de la metodología de cambio rápido de herramienta (SMED) para evaluación del proceso de Troquelado en Industrias de Manufactura de Calzado de Cuero*. Universidad Técnica de Ambato. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25533/1/Tesis_t1234id.pdf
- Basri, A. Q. et al. (2019). The validation of productivity on the changeover activity at the automotive stamping press line by comparing the embedded SMED frame-work versus SMED approach: A witness simulation case study, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing, p. 012005. doi: 10.1088/1757-899X/469/1/012005.
- Costa, E. et al. (2013). Benefits from a SMED application in a punching machine, *World Academy of Science, Engineering and Technology*.
- Cuatrecasas, L. (2018). Lean management: la gestión competitiva por excelencia : implantación progresiva en siete etapas. Barcelona: Profit. Available at: <files/47120/leanglobal.org.html>.
- Hernández, J. (2015). Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación medio ambiente industria y energía, *Fundación EoI*. doi: <http://www.eoi.es/savia/documento/eoi-80094/lean-manufacturing-conceptotecnica-e-implantacion>.

- Kleber Villacreses, Á. V. (2019). Efecto de la metodología lean six sigma en el tiempo de cambio de moldes en el área de termoformado foam: Caso Ecuador, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 23, pp. 495–497. Available at: <https://search.proquest.com/openview/ab90e07101a460afd3f2619fc4c77a79/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>.
- Mantilla, C. (2017). *Metalmecánica y Automotriz: – PRO ECUADOR*. Available at: <https://www.proecuador.gob.ec/metalmecanica-y-automotriz/>.
- Marie Issamar, R. R. (2019). Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización: modelo conceptual propuesto. doi: 10.22507/rli.v16n1a6.
- Monteiro, C. et al. (2019). Improving the machining process of the metalworking industry using the lean tool SMED, in *Procedia Manufacturing. Elsevier B.V.*, pp. 555–562. doi: 10.1016/j.promfg.2019.09.043.
- Moreira, A. C. and Pais, G. C. S. (2015). Single minute exchange of die. A case study implementation, *Journal of Technology Management and Innovation*. Universidad Alberto Hurtado. Facultad de Economía y Negocios, 6(1), pp. 129–146. doi: 10.4067/S0718-27242011000100011.
- Stuglik, J., Gródek-Szostak, Z. and Kajrunajtys, D. (2019). The use of the SMED method in improvement of production enterprises, in *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, p. 01022. doi: 10.1051/e3sconf/201913201022.
- Sugai, M., McIntosh, R. I. and Novaski, O. (2017). Shingo's methodology (SMED): Critical evaluation and case study, Gestao e Producao. *Brazilian Institute for Information in Science and Technology*, 14(2), pp. 323–335. doi: 10.1590/s0104-530x2007000200010.
- Tiago Bidarra, R. G. (2018). *Implementación de la metodología SMED en una industria automotriz utilizando un método de estudio de caso*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/325546090_SMED_Methodology_Implementation_in_an_Automotive_Industry_Using_a_Case_Study_Method.
- Trombeta, P. et al. (2020). Redução do tempo de troca de moldes com SMED-single minute exchange of die and tool em uma indústria de calçados, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*. figshare. doi: 10.6084/M9.FIGSHARE.12317252.V1.
- Wang, S. S., Chiou, C. C. and Luong, H. T. (2019). Application of SMED Methodology and Scheduling in High-Mix Low Volume Production Model to Reduce Setup Time: A Case of S Company, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing*, p. 012058. doi: 10.1088/1757-899X/598/1/012058.

Predicción del riesgo psicosocial laboral en el transporte urbano aplicando técnicas de aprendizaje automático

Amado Antonio Lara

aa.lara@uta.edu.ec

Universidad Técnica de Ambato, Los Chasquis y río Payamino 1281, 1781421, Ambato, Ecuador.

Pages: 153–165

Resumen: El trabajo de conductor de autobús urbano se sitúa entre las ocupaciones modernas con mayor riesgo y más estresante. Si bien el uso de las tecnologías de información y comunicación brinda mayor autonomía y flexibilidad laboral, también ocasiona la exposición a riesgos de índole psicosocial laboral. Las técnicas de aprendizaje automático contribuyen a la predicción temprana de este tipo de riesgos y aporta eficientemente a la toma de decisiones. Se realiza la clasificación con los algoritmos K-vecinos más cercanos, Árbol de decisiones y Máquina de soporte de vectores para determinar la precisión en la predicción de cada uno de ellos. Se utiliza el conjunto de datos de riesgo psicosocial de los conductores de transporte urbano de pasajeros de la ciudad de Ambato, obtenidos con el cuestionario Fpsico 4.0. Los resultados experimentales muestran que el modelo máquina de soporte de vectores tiene un nivel de rendimiento del 88,53%.

Palabras-clave: Aprendizaje de máquina, riesgo psicosocial laboral, conductor de autobús urbano.

Prediction of psychosocial occupational risk in urban transport applying machine learning techniques

Abstract: The job of urban bus driver is among the most risky and stressful modern occupations. Although the use of information and communication technologies provides greater autonomy and flexibility at work, it also causes exposure to risks of a psychosocial nature. Machine learning techniques contribute to the early prediction of these types of risks and contribute efficiently to decision-making. Classification is performed with the closest K-neighboring algorithms, Decision Tree and Vector Support Machine to determine the precision in the prediction of each one. The psychosocial risk dataset of the urban passenger transport drivers of the city of Ambato is used, obtained with the Fpsico 4.0 questionnaire. The experimental results show that the vector support machine model has a performance level of 88.53%.

Keywords: Machine learning, psychosocial occupational risk, urban bus driver.

1. Introducción

Características de la sociedad contemporánea como la globalización de la economía y los avances científicos y tecnológicos, entre otros, suscitan cambios significativos en las organizaciones y por ende en la población trabajadora (Leka & Jain, 2010; Saunders, 2019; Unda et al., 2016; S. Van den Heuvel, Bakhuys, Eekhout, & Venema, 2018). El uso de nuevas tecnologías por parte de los trabajadores generan una mayor autonomía y flexibilidad laboral, pero también dan origen a factores de riesgo psicosocial y como consecuencia de ello, al estrés en el trabajo (Peiró, 2004; Quick, Macik-Frey, & Nelson, 2017; S. G. Van den Heuvel, Bakhuys Roozebom, Eekhout, & Venema, 2018).

La investigación aplicada revela que el estrés laboral tiene efectos perjudiciales sobre la calidad de vida y el trabajo. En el corto plazo incide negativamente en las relaciones sociales, vida familiar, ocasiona ausencia laboral, baja productividad y agresividad; mientras que en el largo plazo, incrementa el riesgo de enfermedades gastrointestinales, coronarias, endocrinas y debilita el sistema inmunológico de los trabajadores (Hoboubi, Choobineh, Ghanavati, Keshavarzi, & Hosseini, 2017; Moreno Jiménez, 2012; Seguel, Navarrete, & Bahamondes, 2017; Siegrist, 2015).

Las secuelas del estrés también impactan en la economía de los trabajadores, las organizaciones y los países; para los trabajadores autónomos, por ejemplo, dejar de trabajar significa menos recursos económicos, en las organizaciones el incremento del absentismo laboral genera baja productividad y consecuentemente menos ingresos, mientras que para las naciones aumentan los gastos de los servicios sanitarios lo que repercute negativamente en su Producto Interno Bruto (Elsler, Takala, & Remes, 2017).

El trabajo de conductor de autobús se sitúa entre las ocupaciones con mayor riesgo psicosocial laboral, más estresante y menos saludables (Evans & Carrere, 1991; EU-OSHA, 2014; Silva, Lefio, Marchetti y Benoit, 2014). Según la EU-OSHA los conductores del transporte terrestre son los más afectados por estrés laboral al compararse con otras actividades económicas (33,3% versus 23,7%).

En el Ecuador, el transporte urbano de pasajeros mayoritariamente está conformado por cooperativas y representan uno de los principales medios de movilización de la población (INEC, 2016). Este sector terciario de la economía satisface las necesidades de movilidad de la población e impulsan la actividad económica del país. En el ejercicio de sus labores, los conductores se ven expuestos a estresores laborales que incluyen: presiones de tiempo (Schneider & Irastorza, 2011), frustración al no poder atender plenamente a los pasajeros (Bartone, 1989), polución, ruidos, congestiones de tráfico (Bartone, 1989; Evans & Carrere, 1991; Carbonell & Bañuls, 1995), violencia, fatiga y estrés (Schwer, Mejza, & Grun-Rehomme, 2010), alta demanda de trabajo, bajo control y apoyo (Boada-Grau, Prizmic-Kuzmica, González-Fernández, & Vigil-Colet, 2013). Según el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), de 2077 casos atendidos en el periodo 2014 – 2018, el 22,5% correspondió a tensión mental o psicológica (estrés) (SART, 2018).

Aun cuando se conocen los efectos del estrés laboral y existen diversos modelos para analizar los riesgos psicosociales que los generan (Leka, 2016), el estudio de factores psicosociales y factores psicosociales de riesgo en el trabajo son complejos, por cuanto

reflejan las percepciones y experiencias del trabajador (OIT, 1998); no obstante, tienen características diferenciales, como la referencia histórica, conceptualización y gradación en los efectos (Moreno Jiménez, 2012); además, los factores psicosociales son descriptivos mientras que los factores psicosociales de riesgo son predictivos (Gutiérrez-Quintanilla & Lobos-Rivera, 2017).

En lo referente a machine learning o aprendizaje automático es una disciplina en pleno desarrollo, que comparte objetivos, procedimientos y técnicas con otras disciplinas de mayor acervo, como las ciencias computacionales, ciencia de datos, estadística e inteligencia artificial. El aprendizaje automático se centra en la búsqueda de patrones en un conjunto de datos para elaborar predicciones y para ello se sirve de la informática (Jordan & Mitchell, 2015; Shah, 2016).

La aplicación de las técnicas de aprendizaje automático se observan en diversos sectores de la economía como la salud, manufactura, educación, finanzas, mercadeo, seguridad, entre otros (Jordan & Mitchell, 2015). Una de sus contribuciones está en el ámbito de la toma de decisiones debido a la capacidad que tiene para realizar pronósticos a partir de la disponibilidad de datos. En el campo de los riesgos psicosociales laborales el aprendizaje de máquina facilita la predicción temprana y coadyuba al desarrollo de actividades de prevención que benefician a las cooperativas de transporte urbano, conductores y usuarios en general.

2. Metodología

El estudio se realiza en el marco del modelo de análisis y evaluación de riesgos psicosociales laborales del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) de España y el modelo de aprendizaje automático (Shah, 2016), estos modelos se aplican de manera complementaria en el presente estudio (figura 1).

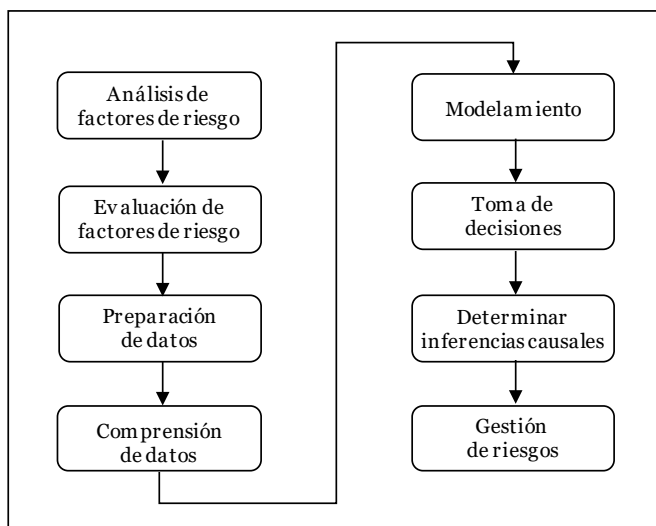


Figura 1 – Modelo de predicción de riesgos psicosociales con técnicas de aprendizaje automático

2.1. Población y muestra

Se incluyeron en el estudio 341 conductores pertenecientes a cuatro de las cinco cooperativas de transporte urbano de la ciudad de Ambato, ellos representaron el 86% de la población. No se calculó la muestra y por consiguiente los cuestionarios se aplicaron a todos los participantes (Meliá *et al.*, 2006). La intervención en el estudio estuvo sujeto al cumplimiento de criterios de inclusión. Los conductores debían participar de manera voluntaria y tener al menos un año de trabajo; en tanto que las cooperativas debían tener vigente el contrato de operación y que el ámbito de operación sea intra cantonal.

Los cuestionarios se administraron en los buses al finalizar los recorridos, durante el año 2019. El tiempo de aplicación del cuestionario fue de 20 a 25 minutos por persona. Los consentimientos informados fueron suministrados de forma individual. En el proceso de socialización del estudio se dio a conocer el propósito, manejo seguro y confidencial de los datos, así como el uso con fines académicos.

2.2. Análisis y evaluación de factores de riesgo

En la identificación de los riesgos psicosociales laborales se utilizó el cuestionario Fpsico 4.0, del INSHT, versión corta, diseñado para organizaciones de cualquier tamaño y ámbito, que contiene 44 preguntas, algunas de ellas múltiples, de manera que el número de ítems llega a 89 (tabla 1), la escala de respuestas es tipo Likert. Las dimensiones del cuestionario incluyen “Tiempo de trabajo, Autonomía, Carga de trabajo, Demandas psicológicas, Variedad/Contenido, Participación/Supervisión, Interés por el trabajador/Compensación, Desempeño de rol y Relaciones y apoyo social” (Pérez Bilbao & Nogareda Cuixart, 2012). Se incorporaron preguntas sociodemográficas (tabla 1).

Dimensiones	Variables
sociodemografía	“sexo”, “e_civil”, “edad”, “cargafamiliar”, “escolaridad”, “experiencia”
tiempo de trabajo	“tt1”, “tt2”, “aut1”, “ctdl4”, “tt3”, “tt4”
autonomía	“aut2”, “aut3”, “aut4”, “aud1”, “aud2”, “aud3”, “aud4”, “aud5”, “aud6”, “aud7”, “aud8”
carga de trabajo	“cte1”, “cte2”, “ctp1”, “ctp2”, “ctp3”, “ctd1”, “ctd2”, “ctd3”, “cte3”, “cte4”, “cte5”, “cte6”
demandas psicológicas	“dps1”, “dps2”, “dps3”, “dps4”, “dps5”, “dpe1”, “dpe2”, “dpe3”, “dpe4”, “dpe5”, “dpe6”, “dpe7”
variedad/contenido	“vc1”, “vc2”, “vc3”, “vc4”, “vc5”, “vc6”, “vc7”
participación/supervisión	“ps1”, “ps2”, “ps3”, “ps4”, “ps5”, “ps6”, “ps7”, “ps8”, “ps9”, “ps10”, “ps11”
interés por el trabajador/compensación	“itc1”, “itc2”, “itc3”, “itc4”, “itc5”, “itc6”, “itc7”, “itc8”
desempeño de rol	“dr1”, “dr2”, “dr3”, “dr4”, “dr5”, “dr6”, “dr7”, “dr8”, “dr9”, “dr10”, “dr11”
relaciones y apoyo social	“ras1”, “ras2”, “ras3”, “ras4”, “ras5”, “ras6”, “ras7”, “ras8”, “ras9”, “ras10”, “ras11”
grado de riesgo	muy elevado, elevado, moderado, adecuado

Tabla 1 – Conjunto de datos

2.4. Clasificación

En aprendizaje automático supervisado hay dos tipos de algoritmos principales denominados regresión y clasificación. En regresión el objetivo es predecir un número continuo mientras que en clasificación el propósito es predecir una etiqueta de clase. En general existen dos tipos de tareas de clasificación: binaria y multiclase (Mueller & Guido, 2016). La clasificación se basa en un conjunto de entrenamiento etiquetado que permite aprender un conjunto de parametros del modelo, posteriormente este modelo se aplica a datos sin etiquetar con el objeto de predecir la clase a la que pertenece cada instancia (Julian, 2016).

Las características y el tamaño del conjunto de datos permiten la elección apropiada del algoritmo de aprendizaje automatico a emplear, por ejemplo, SVM tiene un rendimiento de clasificación extraordinario en conjuntos de datos de tamaño razonable mientras en conjuntos grandes sucede todo lo contrario (Marsland, 2015). En cuanto al uso, en la última década SVM es uno de los cuatro algoritmos más utilizados para analizar el comportamiento de los conductores (Elamrani Abou Elasad, Mousannif, Al Moatassime, & Karkouch, 2020); mientras que para resolver problemas basados en evaluación de riesgos por industrias las técnicas SVM y DT se usan con frecuencia (Hegde & Rokseth, 2020).

K-Nearest Neighbors (KNN)

El clasificador K nearest neighbor (K vecinos más cercano) fue propuesto por Fix & Hodges en el año 1951. KNN es un algoritmo de clasificación no paramétrico de aprendizaje supervisado basado en instancias que se caracteriza por memorizar el conjunto de datos de entrenamiento (Raschka & Mirjalili, 2017). El algoritmo se fundamenta en que los puntos de datos cercanos unos con otros son vecinos, por lo tanto, la distancia entre casos es una medida de su diferencia. La distancia euclidiana (Ecuación 1) es la forma de calcular la cercanía o similitud entre los puntos de datos (Mosquera, Castrillón, & Parra, 2019).

$$Dist(X_1X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^d (X_{1i} - X_{2i})^2} \quad (1)$$

El algoritmo KNN también es llamado como razonamiento basado en casos, aprendizaje basado en instancias o aprendizaje perezoso (Jabbar, Deekshatulu, & Chandra, 2013). KNN tiene la ventaja de que se adecua inmediatamente a medida que se compila nuevos datos de entrenamiento (Raschka & Mirjalili, 2017).

Seleccionar el valor de K en el vecino K más cercano es el problema más crítico. Un valor pequeño de K significa que el ruido tendrá una mayor influencia en el resultado y tiene la posibilidad de sobreajuste, mientras que un gran valor de K hace que el costo computacional se incremente. El cálculo de k se realiza mediante la técnica de validación cruzada (Saxena, 2016).

Support Vector Machines (SVM)

Support Vector Machines (Máquinas de soporte de vectores) es un algoritmo supervisado ampliamente utilizado en clasificación, regresión y estimación de densidad (Al-shargie,

Tang, Badruddin, & Kiguchi, 2018) y esta basado en la teoría del aprendizaje estadístico propuesto por Vapnik en 1995 (Hasseim, Sudirman, & Khalid, 2013). SVM funciona asignando datos a un espacio de características de alta dimensión para que los puntos de datos puedan clasificarse, incluso cuando no sean separables linealmente (Mosquera et al., 2019). Estima un separador para los datos por medio de funciones Kernel. Los datos se transforman de tal manera que se dibuja un separador como un hiperplano (figura 2). El rendimiento del algoritmo es comparable con redes neuronales y árbol de decisiones (Hegde & Rokseth, 2020). Por lo general SVM se usa en clasificación binaria (figura 2).

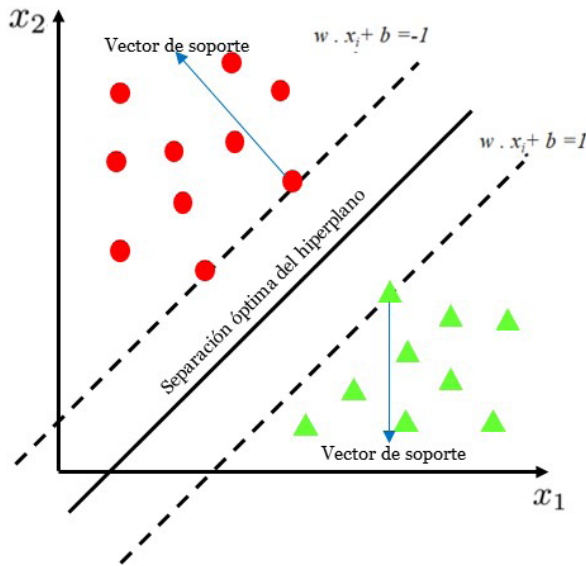


Figura 2 – Modelo SVM

Decision trees (DT)

Decision Trees (Árbol de decisión) es un algoritmo incluido en la categoría de aprendizaje supervisado no paramétrico para tareas de clasificación y regresión. Tiene como propósito crear un modelo de entrenamiento para predecir la clase o el valor de las variables objetivo en función del aprendizaje de reglas de decisión inferidas de datos del conjunto de entrenamiento. Una variable objetivo con un conjunto discreto de valores o valores continuos determina si se trata de un árbol de clasificación o regresión (Saxena, 2016; Shah, 2016).

El algoritmo usa la ganancia de información como criterio para estimar la medida de entropía de cada atributo. La ganancia de información calcula (Ecuación 2) la reducción esperada en la entropía debido a la clasificación del atributo (Saxena, 2016).

$$H(X) = \mathbb{E}_x[I(x)] = - \sum_{x \in \mathbb{X}} p(x) \log p(x) \quad (2)$$

Métricas de rendimiento en clasificación

Las métricas de rendimiento explican el desempeño de un algoritmo (Shi & NGan, 2014). En la literatura especializada se establece que la métricas de rendimiento más apropiadas se fundamentan en la relación entre el número de muestras clasificadas y el número total de muestras (Chicco & Jurman, 2020). Existen diferentes métricas de evaluación de modelos de clasificación, que incluyen: índice Jaccard y F1-score. El índice Jaccard, también conocido como coeficiente de similitud de Jaccard, se define como el tamaño de la intersección dividido por el tamaño de la unión de dos conjuntos de etiquetas. Mientras que F1-score o puntaje F1 es el promedio armónico de la precisión y el recuerdo, donde un puntaje F1 alcanza su mejor valor en uno (que representa la precisión) y el peor en cero.

3. Resultados

3.1. Sociodemográficos

Participaron 341 conductores, de los cuales el 100% son hombres, con edades comprendidas mayoritariamente entre 41 y 50 años (34.90%); el 53.08% son bachilleres; el 34.02% tiene experiencia entre 10 y 19 años (tabla 2).

Variable	Escalas de respuesta	N	%
<i>sexo</i>	mujer	0	0
	hombre	341	100
<i>edad</i>	18 a 30 años	58	17.00
	31 a 40 años	105	30.79
	41 a 50 años	119	34.90
	51 a 65 años	54	15.84
	más de 65 años	5	1.47
<i>nivel de educación</i>	básica	121	35.48
	bachiller	181	53.08
	tercer nivel	39	11.44
<i>años de experiencia como conductor de bus</i>	de 1 a 4 años	56	16.42
	de 5 a 9 años	76	22.29
	de 10 a 19 años	116	34.02
	más de 20 años	93	27.27

Tabla 2 – Características sociodemográficas de los trabajadores encuestados.

3.2. Riesgos psicosociales laborales

El porcentaje de conductores (tabla 3) que superan la media y están en situación desfavorable (riesgo muy elevado), están en la dimensión participación/supervisión (66.9%); mientras que las dimensiones tiempo de trabajo (47.2%) y relaciones y apoyo social (41.1%) se encuentran cerca de la media (riesgo elevado). En condiciones favorables (riesgo moderado y adecuado), están las dimensiones: interés por el trabajador (94.4%); variedad/contenido (84.2%); autonomía (74.2%); y, desempeño de rol (65.7%).

Dimensión	Adecuado	Moderado	Elevado	Muy elevado
<i>tiempo de trabajo</i>	108	72	52	109
<i>autonomía</i>	203	50	39	49
<i>carga de trabajo</i>	166	40	45	90
<i>demanda psicológica</i>	147	59	48	87
<i>variedad / Contenido</i>	253	34	26	28
<i>participación / Supervisión</i>	73	40	60	168
<i>interés por trabajador/Compensación</i>	307	15	13	6
<i>desempeño de rol</i>	190	34	30	87
<i>relaciones y apoyo social</i>	161	38	55	87

Tabla 3 – Cantidad de conductores por nivel de riesgo

3.3. División entrenamiento / prueba

Se realiza la normalización y estandarización de datos para obtener la media cero y varianza unitaria; a continuación, se divide el conjunto de datos (tabla 4) en entrenamiento (80%) y prueba (20%), previamente se realizó la limpieza, estructura, integración y formateo de datos.

Nombre	Total datos	Datos de entrenamiento (80%)	Datos de prueba (20%)
<i>matriz datos UCTUT</i>	341	272	69

Tabla 4 – División del conjunto de datos para entrenamiento y prueba

3.4. Nivel de precisión

Para evitar el sobre ajuste o la generalización del modelo se calcula el valor apropiado de k. En el proceso de modelamiento se establece un rango de 1 a 10 para determinar el valor óptimo de k. El resultado que se obtiene es k = 2 (figura 3).

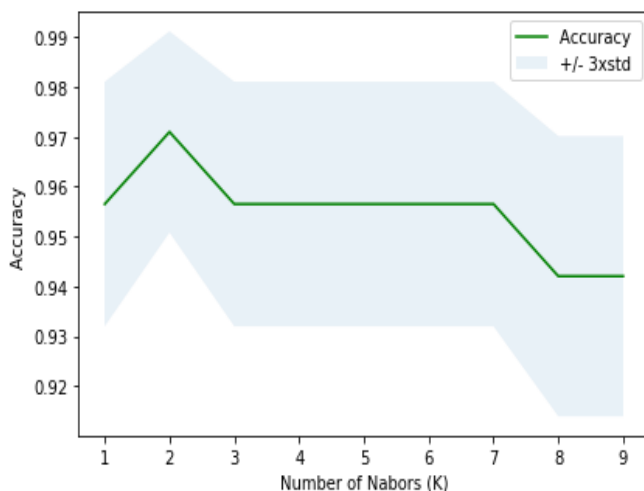


Figura 3 – Valor de k para clasificación

3.5. Reporte

Los resultados indican que el modelo Maquinas de soporte vectorial (SVM) tiene mayor precisión que los modelos K-vecinos más cercanos (KNN) y Árbol de decisión (DT), tanto en el análisis con el índice Jaccard como en el F1-score, para predecir el nivel de riesgo psicosocial laboral en conductores de transporte urbano de pasajeros de la ciudad de Ambato (tabla 5).

Nombre	Jaccard	F1-score
<i>k-vecinos más cercanos</i>	0.8795	0.8795
<i>árbol de decisión</i>	0.7533	0.7337
<i>máquinas de soporte de vectores</i>	0.8853	0.8852

Tabla 5 – Resultados de los indicadores

4. Conclusiones

El interés por predecir de manera oportuna los riesgos psicosociales que afectan a los conductores de buses de transporte urbano con técnicas de aprendizaje automático se han incrementado de forma consistente desde hace varios años, debido al costo-beneficio que representa para la sociedad en general. En este estudio se emplean técnicas de aprendizaje automático supervisado no paramétricos denominados k-vecinos más cercanos, máquinas de soporte de vectores y árbol de decisión, con la finalidad de predecir el riesgo psicosocial laboral que afecta a los conductores que brindan el servicio de transporte urbano en la ciudad de Ambato. Los resultados de la aplicación de las métricas de rendimiento de los modelos de clasificación mejoraron con la incorporación al conjunto de datos de los valores correspondientes a índice de masa muscular, presión

arterial y de saturación de oxígeno en la sangre. El algoritmo máquinas de soporte de vectores alcanzó una mayor precisión con relación a los otros dos algoritmos analizados. SVM obtuvo una precisión del 88.53% con el índice Jaccard y el 88.52% con el F1-score.

Referencias

- Al-shargie, F., Tang, T. B., Badruddin, N., & Kiguchi, M. (2018). Towards multilevel mental stress assessment using SVM with ECOC: an EEG approach. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 56(1), 125–136. <https://doi.org/10.1007/s11517-017-1733-8>
- Bartone, P. T. (1989). Predictors of stress-related illness in city bus drivers. *Journal of Occupational Medicine*, 31(8), 657–663.
- Boada-Grau, J., Prizmic-Kuzmica, A. J., González-Fernández, M. D., & Vigil-Colet, A. (2013). Versión española de la bus drivers' job demands scale (BDJD-24). *Psicothema*, 25(2), 258–265. <https://doi.org/10.7334/psicothema2012.106>
- Carbonell, E., & Bañuls, R. (1995). El ambiente de tráfico como generador de ansiedad en el conductor: Inventario de situaciones ansiógenas en el tráfico. *Anuario de Psicología*, 65, 165–183.
- Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *Springer*. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1186/s12864-019-6413-7>
- Elamrani Abou El Assad, Z., Mousannif, H., Al Moatassime, H., & Karkouch, A. (2020). The application of machine learning techniques for driving behavior analysis: A conceptual framework and a systematic literature review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103312. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103312>
- Elsler, D., Takala, J., & Remes, J. (2017). Comparación a nivel internacional del coste de los accidentes y las enfermedades relacionadas con el trabajo. *Agencia Europea Para La Seguridad y La Salud En El Trabajo (EU-OSHA)*, 1–10. Retrieved from <https://osha.europa.eu/es/tools-and-publications/publications/international-comparison-cost-work-related-accidents-and/view>
- Evans, G. W., & Carrere, S. (1991). Traffic congestion, perceived control, and psychophysiological stress among urban bus drivers. *Journal of Applied Psychology*, 76(5), 658–653.
- Gutiérrez-Quintanilla, J., & Lobos-Rivera, M. (2017). Factores psicosociales y comportamiento agresivo al conducir correlacionados con accidentes de tránsito en conductores salvadoreños. *Entorno*, 285(64), 9–19. <https://doi.org/10.5377/entorno.voí64.6056>
- Hasseim, A. A., Sudirman, R., & Khalid, P. I. (2013). Handwriting Classification Based on Support Vector Machine with Cross Validation. *Scientific Research*. <https://doi.org/10.4236/eng.2013.55B017>

- Hegde, J., & Rokseth, B. (2020). Applications of machine learning methods for engineering risk assessment – A review. *Safety Science*, 122, 104492. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.09.015>
- Hoboubi, N., Choobineh, A., Ghanavati, F. K., Keshavarzi, S., & Hosseini, A. A. (2017). The Impact of Job Stress and Job Satisfaction on Workforce Productivity in an Iranian Petrochemical Industry. *Safety and Health at Work*, 8(1), 67–71. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.07.002>
- INEC, I. N. de E. y C. (2016). Anuario de estadísticas del transporte. *Anuario de Estadística Del Transporte*. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica_de_Transporte/2016/2016_AnuarioTransportes_Resumen_Metodológico.pdf
- Jabbar, M. A., Deekshatulu, B. L., & Chandra, P. (2013). Classification of Heart Disease Using K- Nearest Neighbor and Genetic Algorithm. *Procedia Technology*, 10, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.340>
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
- Julian, D. (2016). *Designing Machine Learning Systems with Python* (First). Birmingham B3 2PB, UK.: Packt Publishing Ltd. Retrieved from <https://www.packtpub.com/>
- Leka, S. (2016). Psychosocial risk management: Calamity or opportunity? *Occupational Medicine*, 66(2), 89–91. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqv173>
- Leka, S., & Jain, A. (2010). *Health Impact of Psychosocial Hazards at Work: An Overview*. Geneva: World Health Organization.
- Marsland, S. (2015). *MACHINE LEARNING An Algorithmic Perspective* (Second). Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group. Retrieved from <https://taylorandfrancis.com>
- Meliá, J., Nogareda, C., Matilde, L., Duro, A., Peiró, J., Salanova, M., & Gracia, D. (2006). Principios comunes para la evaluación de los riesgos psicosociales en la empresa. *Perspectivas de Intervención En Riesgos Psicosociales. Evaluacion de Riesgos*, 13–36. Retrieved from <http://www.uv.es/meliajl/Papers/2006FTNCap1.pdf>
- Moreno Jiménez, B. (2012). Factores y riesgos laborales psicosociales: conceptualización, historia y cambios actuales. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 57, 4–19. <https://doi.org/10.4321/s0465-546x2011000500002>
- Mosquera, R., Castrillón, O. D., & Parra, L. (2019). Aplicación del modelo híbrido k-nearest neighborsSupport Vector Machine para la predicción del riesgo psicosocial en docentes de colegios públicos colombianos. *17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*.
- Mueller, A., & Guido, S. (2016). *Introduction to Machine Learning with Python* (First). United States of America: O'Reilly Media. Retrieved from <https://www.oreilly.com>

- OIT. (1998). Enciclopedia de seguridad y salud en el trabajo (First). Retrieved from https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS_162039/lang-es/index.htm
- Peiró, J. (2004). El sistema de trabajo y sus implicaciones para la prevención de los riesgos psicosociales en el trabajo, 3(2), 179–186.
- Pérez Bilbao, J., & Nogareda Cuixart, C. (2012). NTP 926 Factores psicosociales: metodología de evaluación, 1–6. Retrieved from <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/926a937/926w.pdf>
- Quick, J., Macik-Frey, M., & Nelson, D. (2017). Job Stress. *Encyclopedia of Applied Psychology*, (December 2015), 1–8. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.05616-9>
- Raschka, S., & Mirjalili, V. (2017). *Python Machine Learning* (Second). Birmingham B3 2PB, UK.: Packt Publishing Ltd. Retrieved from <https://www.packtpub.com/>
- SART. (2018). *Estadísticas del SART - IESS*. Quito. Retrieved from https://sart.iesgob.ec/SRGP/indicadores_ecuador.php
- Saunders, J. (2019). The fourth industrial revolution and social innovation in the work place. *EU-OSHA*, 316(1), 549–552. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1979.tb29497.x>
- Saxena, R. (2016). KNN Classifier, Introduction to K-Nearest Neighbor Algorithm. Retrieved from <https://dataaspirant.com/k-nearest-neighbor-classifier-intro/>
- Schneider, E., & Irastorza, X. (2011). *OSH in figures: Occupational safety and health in the transport sector. Labour*. European Agency for Safety and Health at Work.
- Schwer, K., Mejza, M., & Grun-Rehomme, M. (2010). Workplace Violence and Stress: The Case of Taxi Drivers. *Transportation Journal*, 49(2), 5–23.
- Seguel, K., Navarrete, E., & Bahamondes, G. (2017). Explicación de la Accidentabilidad Laboral Basada en Factores de Riesgo Psicosocial y Rasgos de Personalidad en el Transporte Forestal EXPLANATION OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS BASED ON PSYCHOSOCIAL RISK FACTORS AND PERSONALITY. *Ciencia & Trabajo*, 157–165.
- Shah, D. (2016). *Machine Learning*. Boston, USA. Retrieved from <https://professionalprograms.mit.edu/es/programa-online-machine-learning/>
- Shi, R., & NGan, K. N. (2014). Jaccard index compensation for object segmentation evaluation. *IEEE*. Retrieved from <https://sci-hub.tw/10.1109/ICIP.2014.7025904>
- Siegrist, J. (2015). *Stress at Work. International Encyclopedia of Social & Behavioral Sciences* (Second Edi, Vol. 23). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.73023-6>
- Unda, S., Uribe, F., Jurado, S., García, M., Tovalín, H., & Juárez, A. (2016). Elaboración de una escala para valorar los factores de riesgo psicosocial en el trabajo de profesores universitarios. *Revista de Psicología Del Trabajo y de Las Organizaciones*, 32(2), 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.rpto.2016.04.004>

- Van den Heuvel, S., Bakhuys, M., Eekhout, I., & Venema, A. (2018). Gestión de los riesgos psicosociales en los lugares de trabajo europeos : datos de la segunda encuesta europea de empresas sobre riesgos nuevos y emergentes (ESENER-2). *Agencia Europea Para La Seguridad y La Salud En El Trabajo (EU-OSHA)*, 1–10.
- Van den Heuvel, S. G., Bakhuys Roozebom, M. C., Eekhout, I., & Venema, A. (2018). Gestión de los riesgos psicosociales en los lugares de trabajo europeos : datos de la segunda encuesta europea de empresas sobre riesgos nuevos y emergentes (ESENER-2). *Agencia Europea Para La Seguridad y La Salud En El Trabajo (EU-OSHA)*, 1–10.

Políticas públicas en el Ecuador hacia la ciberseguridad en base a QoS en redes de campus académicos en entornos convencionales y SDN

Ruth Barba-Vera¹, Marcelo Criollo Bustamante², Norma Aimacaña Toledo³, Carlos Silva-Cárdenas⁴, Byron Vaca Barahona⁵

rbarba@esPOCH.edu.ec; puntoec@yahoo.com; naimacana@mitalysoft.com; csilva@puCP.edu.pe; bvacab@esPOCH.edu.ec

^{1,2,3,5}Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 060155, Riobamba, Ecuador.

^{1,4}Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima32, Lima, Perú.

Pages: 166–179

Resumen: Ante la era de la Sociedad de la Información y del Conocimiento, Ecuador está aplicando políticas gubernamentales enfocadas a cumplir con este compromiso. Los servicios e infraestructura de telecomunicaciones en el país han crecido enfocados a dar solución a la demanda cada vez mayor de recursos de los usuarios de redes de campus que afecta el rendimiento en la red. Se presenta una propuesta de solución basada en SDN previo estudio del tráfico en redes de campus universitarios, políticas de QoS en redes convencionales; definiendo políticas de QoS en redes SDN y convencional. Se muestran los resultados evaluados en dos escenarios convencional y SDN; en base a: latencia, jitter, ancho de banda y pérdida de paquetes; innovando al introducir las redes SDN en escenarios reales. Se aplica el método estadístico T-Student para el análisis de los datos.

Palabras-clave: Políticas Públicas; Ciberseguridad; Políticas de QoS; TIC; SDN.

Public policies in Ecuador towards cybersecurity based on QoS in academic campus networks in conventional and SDN environments

Abstract: Given the era of the Information and Knowledge Society, Ecuador is implementing government policies focused on fulfilling this commitment. Telecommunications services and infrastructure in the country have grown focused on solving the growing demand for resources of campus network users that affects network performance. We present a solution proposal based on SDN after a study of traffic in university campus networks; QoS policies in conventional networks; defining QoS policies in SDN and conventional networks. The results evaluated in conventional and SDN scenarios are shown; based on latency, jitter, bandwidth, packet loss; innovating by introducing SDN networks in real scenarios. We applied The T-Student statistical method for data analysis.

Keywords: Public Policies; Cybersecurity; QoS Policies; TIC; SDN.

1. Introducción

En la actualidad la seguridad cibernética es una parte cada vez más importante de nuestra vida y el grado de interconexión de las redes implica que todo puede estar expuesto, desde la infraestructura crítica nacional hasta nuestros derechos humanos básicos; por lo tanto, se insta a los gobiernos a considerar políticas que apoyen el crecimiento continuo de la sofisticación, el acceso y la seguridad de la tecnología y adopten una estrategia nacional de ciberseguridad (ITU, 2017).

Por otra parte, el Índice Global de Ciberseguridad (GCI), emitido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), publicado en el 2017, que gira en torno a los pilares: jurídico, técnico, organizativo, creación de capacidades; ubicó al Ecuador en el puesto 65 de 193 países a nivel mundial, y lo posicionó en el sexto lugar entre los países de América Latina y el Caribe, categorizándolo como de nivel intermedio en compromiso con la seguridad cibernética (ITU, 2017).

Ecuador alineado con la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información (CMSI) realizado en Ginebra en 2014, con el fin de monitorear los avances en la construcción de la Sociedad de la Información, estableció mejoras en las líneas de acción referente al papel de los gobiernos y las partes interesadas en la promoción de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) para el desarrollo y lo referente a la Infraestructura de la información y la comunicación. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información y del conocimiento - MINTEL del Ecuador, 2018).

En este marco de desarrollo, Ecuador ha crecido en los últimos años en servicios e infraestructura de telecomunicaciones; trabajando en la autopista de la información enfocada además en: los datos y los contenidos digitales, pero, sobre todo, en cómo los ecuatorianos se beneficiarán a través de su uso eficiente. En el “Libro Blanco de la Sociedad de la Información y del Conocimiento” (LBSIC), se incluyen estrategias y acciones inclusivas y orientadas al desarrollo del país, aprovechando la calidad de su talento humano, su espíritu emprendedor e innovador; así como las TIC para impulsar el crecimiento económico y desarrollo social. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información y del conocimiento - MINTEL del Ecuador, 2018)

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) del Ecuador, presenta una estrategia conformada por cinco ejes con sus programas y líneas de acción, sobre los que se fortalecerá la Sociedad de la Información y del Conocimiento, de manera articulada con los distintos actores, alineada al Plan Nacional de Desarrollo 2017- 2021, los mismos que son: Infraestructura y Conectividad, Gobierno Electrónico, Inclusión y Habilidades Digitales, Seguridad de la Información y Protección de Datos Personales, Economía Digital y Tecnologías Emergentes.

Entre los objetivos del programa para masificar y universalizar el acceso a las redes públicas de telecomunicaciones se contempla: incentivar la migración a redes de nueva generación y de alta velocidad, con lo que el programa beneficiará a la población al promover el servicio universal de las TIC en la población, con énfasis en los sectores rurales, urbano marginales, propiciando la inclusión con pertinencia de género, intergeneracional, pueblos y nacionalidades en base al acuerdo Ministerial 011-2017, publicado en el Registro Oficial No. 15, del 15 de junio de 2017 publicado por el MINTEL

de las Políticas Públicas del Sector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información 2017-2021.

Frente a las políticas gubernamentales del Ecuador y la necesidad generacional de la información en que más usuarios necesitan acceder a servicios y aplicaciones que demanda un mayor esfuerzo para su eficiente gestión y control, se propone la aplicación de políticas de calidad de servicio (QoS) tanto en un entorno de redes convencionales como en un entorno de redes SDN en la que se permita gestionar la red bajo un enfoque de las redes de campus académicas, de acuerdo a condiciones reales, a su nivel de carga y las restricciones de calidad de servicio de los flujos de tráfico que circulan por ella, logrando mejorar su desempeño con una administración más eficiente.

Esta propuesta, pretende disminuir la complejidad al momento de gestionar el flujo del tráfico de red por la enorme cantidad de datos, prestaciones de servicios y aplicaciones que procesan día a día, esto sumado al crecimiento exponencial del tráfico IP, por el uso de la nube, de la movilidad, del video y del tráfico M2M (Machine to Machine), demanda una revolución en las infraestructuras al que la mayoría de organizaciones no están preparadas. (Cisco, 2009).

En función de la nueva visión que tiene el país sobre la implementación de nuevas políticas para fortalecer la Sociedad de la Información y del Conocimiento y basado en el estudio del CEDIA (Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia) acerca del “Estado de las tecnologías de la Información y la Comunicación en las Universidades Ecuatorianas” que informa que tan sólo el 8% tiene una implementación completa de políticas de seguridad en las universidades del país (Padilla, Cadena, Enríquez, Córdova, & Llorens, 2017) se ha desarrollado esta propuesta que plantea la implementación de políticas de Calidad de Servicio (QoS, por sus siglas en inglés) en Redes Definidas por Software (SDN, por sus siglas en inglés), previo análisis de los resultados de una revisión sistemática de literatura acerca de la implementación de políticas de QoS en redes convencionales, utilizando la metodología de Kitchenham, (Kitchenham & Charters, 2007)

Con lo que se presenta una propuesta innovadora al aplicar políticas de QoS e incluir SDN en redes de campus académicas evaluando el rendimiento en dos escenarios de estudio, convencional y SDN, propuesta enmarcada en las políticas gubernamentales del Ecuador hacia la sociedad del conocimiento.

El documento presenta: el estudio del arte de la temática, describe la metodología empleada en el desarrollo, el análisis de los resultados y finalmente se enuncian las conclusiones de la investigación.

2. Antecedentes

2.1. Estado de las políticas TIC en las universidades del Ecuador

CEDIA publicó, en el 2017, un estudio que evalúa el estado de las TIC en las universidades ecuatorianas; con un alcance de 37 unidades: 22 públicas y 15 privadas. Se determina que el 8% de las universidades encuestadas cuentan con políticas TIC formalizadas

completas, el 60% lo tenía de manera parcial y un 32% no contaba con dichas políticas. El 51% tenía un responsable de seguridad como parte de la estructura TIC, el 6% contaba con un responsable, pero no era parte de TIC, y un 43% no tenía un responsable de la seguridad. El 16% contaba con un plan de contingencia aprobado y difundido, que determinó las acciones a realizar ante amenazas y eventos que puedan provocar pérdida de información o interrupciones de servicios TIC, el 30% no contaba con un plan aprobado; mientras, que el 54% no tenía ningún plan. El 70% contaba con el Equipo de Respuesta a Incidentes de Seguridad (CSIRT por sus siglas en inglés) de CEDIA, el 8% con uno propio y el 22% no tenían ningún CSIRT.(Padilla et al., 2017)

2.2. Redes Convencionales y Redes SDN

Las redes convencionales se caracterizan por ser de naturaleza monolítica y arquitectura vertical posibilitan el encaminamiento de paquetes a través de las redes usando Routers o Switches, éstos incorporan en un mismo dispositivo físico el plano de: datos, control y gestión, para así posibilitar el ruteo individual de los paquetes entrantes(ONF, 2015). Basada en soluciones propietarias lo que restringe el diseño y gestión de tráfico entre equipos de diferentes marcas, ocasionando que la red se mantenga estática e inflexible reduciendo en términos de innovación y evolución a la infraestructura de red(Planas, 2016).

La Open Networking Foundation(ONF) define SDN como directamente programable, ágil permitiendo ajustar dinámicamente el tráfico de red; centralizada a través de controladores, basada en estándares abiertos y neutrales(ONF, 2015). Posee un controlador, con interfaz de programación para los equipos compatibles, de manera que las aplicaciones son capaces de realizar tareas de gestión ofreciendo nuevas funcionalidades, como: estado y visualización de la topología de red; conexiones TCP entre el controlador y los dispositivos; además Interfaz de Programación de Aplicaciones (APIs) y servicios del controlador a las aplicaciones de gestión (Nikolaos, 2017). Entre los controladores disponibles están: FloodLight(Wang, 2016), OpenDayLight(OpenDaylight Projects, 2018), Ryu(Ryu SDN Framework Community, 2017), SDN Van Controller (HPE, 2016), entre otros.

2.3. Calidad de servicio (QoS)

La ITU según la G.1010 define la calidad de servicio como el efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario(ITU-T, 2001). Dejando al cliente determinar las características y comportamientos que lo satisfacen al tener necesidades diferentes como: minimizar el retardo, asegurar velocidad mínima, priorizar tráfico, etc.

Para proporcionar garantías en la transmisión de determinados flujos de los datos, la ISO (1994) introdujo el concepto QoS; la cual se utiliza para medir la calidad del servicio ofrecido por una red de comunicación. Pues se considera como las propiedades de rendimiento de extremo a extremo medibles de un servicio de red, que pueden garantizarse por adelantado mediante un acuerdo de nivel de servicio (SLA) entre un usuario y un proveedor de servicios, para satisfacer los requisitos específicos de la aplicación del cliente (Stallings William, 2016).

Desde una perspectiva de red empresarial para maximizar la disponibilidad y el rendimiento en equipos de Tele-Presencia garantizando una calidad de servicio, se evalúan los parámetros: Ancho de Banda, Latencia, Jitter (variaciones en latencia), pérdida de paquetes (Cisco, 2009), variables que se han seleccionado para el presente estudio.

2.4. Implementación de Políticas

Para el análisis de las políticas de Calidad de Servicio, nos basamos en los resultados de la revisión sistemática de la literatura aplicando la metodología de Kitchenham (Kitchenham & Charters, 2007) evaluada en Scopus (Scopus, 2018); una búsqueda enfocada en Políticas de QoS, SDN, rendimiento en Redes Empresariales, con un resultado de 12 publicaciones que hacen referencia a la temática donde en el estudio de Kang (Kang, Rottenstreich, Rao, & Rexford, 2017) se observa la encuesta realizada a 22 universidades sobre la implementación de políticas QoS en cada campus académico. Del análisis se identifica: hosts limitados por ancho de banda; en seguridades limitan a los usuarios externos que puedan acceder a un host determinando un acceso a un conjunto de servicios en el campus; además de restricciones de puertos para aplicaciones y servicios (HTTP, POP3, FTP). También, algunas entidades ofrecen una mayor QoS para aplicaciones multimedia de alta calidad; además de servicios basados según el rol. Otra opción de políticas de QoS es la asignación de hosts a VLAN basadas en el rol (facultad, personal y estudiante), para el aislamiento del tráfico, evitando el rastreo de paquetes y el tráfico excesivo de difusión. Con la identificación de las posibles mejoras según el estudio realizado en (Barba, Criollo, Aimacana, Manosalvas, & Silva-Cardenas, 2019) se definen las políticas de QoS a ser implementadas.

Además, para determinar las políticas en una red se debe categorizar el tráfico, en entornos empresariales, por su naturaleza el Internet está conformado en mayor porcentaje por el protocolo IP. El estudio de los flujos de tráfico de Quan (Quan & Heidemann, 2010) concluye que los flujos con más tiempo de duración son superiores a los 10 minutos y representan el 20% del volumen de tráfico total, éstos son las sesiones peer-to-peer. Quispe (Quispe, 2017a) categoriza la taxonomía de la traza pública 20100106-030946-o.dsl de ISPSL-II (Network Research Group, 2010) a través de un script (Quispe, 2017c) utilizando la librería pycapfile de Python (Quispe, 2017b), que al ser ejecutada por 20 minutos y procesar 23 millones de paquetes, se observó que los protocolos de mayor presencia en la red son: TCP y UDP, con un porcentaje de 80, 3% y 19.2% respectivamente. (Barba et al., 2019)

Basado en ello se implementa políticas de QoS, considerando el tráfico con los protocolos TCP en el 80% y UDP en el 20%, respectivamente.

3. Metodología

Los escenarios de pruebas han sido implementados utilizando un switch HP, que trabaja en modo SDN y convencional. Se implementó una topología básica, debido a que el análisis de tráfico se centra en un nodo de la red, el mismo que a pesar de ser pequeño usa cargas altas de tráfico. Adicionalmente se ha considerado evaluar el rendimiento en

base a: latencia, jitter, ancho de banda, pérdida de paquetes como se sugiere en (Cisco, 2009) evaluando la funcionalidad de las políticas de QoS incluyendo condiciones de saturación, con el generador de tráfico DIT-G que logra emular la pila de protocolos TCP/IP completa, permitiendo obtener medidas aceptables al usar protocolos de las capas de transporte, red e interfaz para medir el rendimiento de la red en los escenarios de estudio (R. Mosavi, F. Farabi, 2015).

3.1. Políticas de QoS

Considerando lo expuesto en el apartado 2.4 referente a la implementación de políticas, éstas se diseñan para aplicarse en dos escenarios reales considerando el tipo de tráfico: TCP, UDP con el 80% y 20% respectivamente; se aplica además el flujo de etapas del modelo propuesto para el diseño de políticas de QoS en redes Convencionales y SDN detallado en la figura 1.

Se planteó políticas compatibles a los escenarios SDN y al tradicional, con ACLs (Listas de Control de Acceso) numeradas, que tienen similares parámetros considerando que las pruebas a realizarse deben ejecutarse en ambas tecnologías para su valoración y comparación. Estas políticas se configuraron tanto para el cliente como para el servidor, de tal manera que se permita el flujo bidireccional.

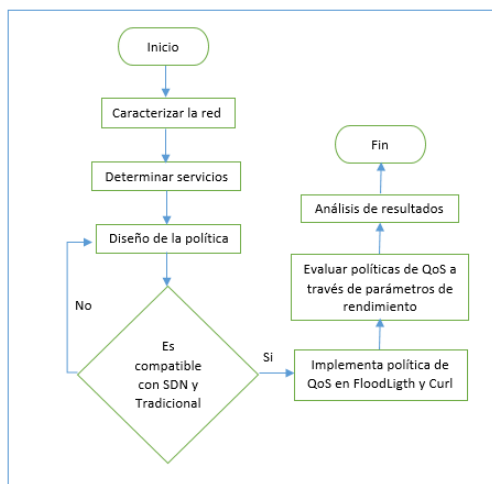


Figura 1 – Flujo de Etapas del modelo propuesto para diseño de políticas de QoS en redes Convencionales y SDN (Barba et al., 2019)

3.2. Elementos Hardware

El hardware utilizado en la implementación de los escenarios propuestos, se presenta la Tabla 1 referente a Equipamiento y Características.

CANTIDAD	EQUIPAMIENTO	CARACTERISTICAS
1	HP Serie 3800 Switch J9575	24 RJ45 autosensing 10/100/1000, OpenFlow, 2 Puertos SFP+ 10G, Ram 2GB, 4GB flash, 2GB SDRAM, HPE ProVision ASIC/ARM@350Mhz
3	COMPUTADORES	Procesador: Intel Core i3-2310M 2.1GHz, Memoria RAM: 2GB DDR3, Disco Duro: 500GB 5400RPM.

Tabla 1 – Equipamiento y Características

3.3.Elementos Software

El software empleado para este proyecto se expone en la Tabla 2 de Herramientas y Funcionalidad.

HERRAMIENTAS	FUNCIONALIDAD
VIRTUAL BOX 5.2.12	Herramienta de virtualización de código abierto, multiplataforma para Linux, Windows y Mac OSX.
Ubuntu 16.04 Desktop.	Sistema Operativo base para el controlador.
Java JDK 10.02	Complemento para D-ITG.
OpenDayLight Nitrogen, Floodlight, RYU, Hp Van Controller	Controladores evaluados para selección del más adecuado.
Wireshark 2.6.0	Analizador de tráfico de red.
D-ITG 2.61 GUI 0.92	Generador de tráfico.

Tabla 2 – Herramientas y Funcionalidad

3.4.Selección del Controlador

Se seleccionó el controlador Floodlight, por ser el más completo en sus funcionalidades en comparación con los demás controladores probados. Se fundamenta en la evaluación mediante una escala de LIKERT basada en nuestra experiencia al valorarlos en los escenarios de estudio. Donde se puede observar que los controladores evaluados OpenDaylight, Ryu, VANController, Floodlight comparten soporte de protocolo Openflow V1.0 –V1.3, tienen soporte en Mininet como herramienta de simulación; además Floodlight es multiplataforma, posee Rest API, es de código abierto, medianamente complejo en la instalación y es compatible con el equipo de los escenarios propuestos, además tiene mayor tiempo en el mercado y posee muy buena documentación, características importantes para haberlo considerado para el estudio.(Barba et al., 2019)

3.5.Escenarios Experimentales

Los dos escenarios propuestos, detallados en las figuras 2 y 3, se implementaron en una infraestructura física equivalente y constan de un conmutador conectado con dos terminales (servidor y cliente). La configuración del conmutador HPE 3800 Series

varía en cada escenario. El primero es infraestructura real convencional y el segundo escenario implementado con tecnología SDN.

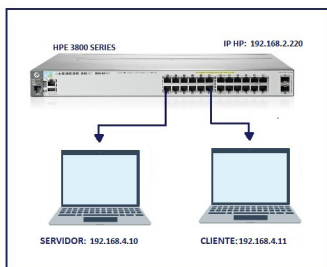


Figura 2 – Escenarios de Pruebas Convencional

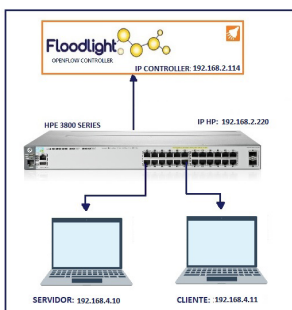


Figura 3 – Escenarios de Pruebas con SDN

Una vez implementados los escenarios, se procede a ingresar las reglas de QoS seleccionadas mediante Curl, además se incluyen las reglas de firewall para el escenario con SDB. Se incluyen algunas líneas de código, como ejemplo:

Reglas de Firewall

```
Curl -X POST -d '{"switchid":  
"00:00:70:b3:d5:6c:de:48"}' http://192.168.2.114:8080/wm/firewall/rules/json
```

```
Curl -X POST -d '{"src-ip": "192.168.4.10", "dst-ip": "192.168.4.11", "priority": "99"}'  
http://192.168.2.114:8080/wm/firewall/rules/json
```

Reglas de ACL

```
Curl -X POST -d '{"src-ip": "192.168.4.0/24", "dst-ip": "192.168.4.0/24",  
"action": "allow"}' http://192.168.2.114:8080/wm/acl/rules/json
```

4. Pruebas y Resultados

El equipo Hp Serie 3800 24G-25FP+ Switch J9575 utilizado para las pruebas posee doble funcionalidad, trabajando en modo tradicional y SDN. Para realizar las pruebas se inyectó dos flujos de datos TCP y UDP por ser el tipo de tráfico más común en una red empresarial(HPE, 2016), con valores entre 1000 a 13000 Paquetes/segundo; con tamaño estándar de paquete de 512 bytes.

Se establece una conexión P2P, por sus siglas en inglés (Uno a Uno) entre el cliente y el servidor; en éste último se inyecta el tráfico a través del generador D-ITG. Se realizaron mediciones en cada extremo de la conexión, por indicador y escenario de estudio; registrando 30 muestras del flujo de datos en tiempo real para evaluar los efectos que la aplicación de políticas de QoS producen sobre el rendimiento. Las muestras fueron ponderadas, analizadas y comparadas. Evaluándose: Latencia, el tiempo promedio de retardos en la red. Jitter, diferencia del tiempo en la transmisión de paquetes. Ancho de banda, cantidad de información que se puede enviar. Pérdida de Paquetes, cantidad de paquetes descartados.

4.1.Prueba T de Student

El análisis estadístico se realizó con la prueba T-Student, evaluando los cuatro parámetros: latencia, jitter, ancho de banda y pérdida de paquetes, para luego compararlos con los valores obtenidos en el escenario tradicional. T-Student verifica dos supuestos principales según (A. Lind, G. Marchal, & Wathen, 2018): (a) que los datos tengan una distribución normal y (b) que exista como mínimo 30 datos en la muestra. Se tomaron 30 muestras en el tráfico de red para cumplir con el segundo supuesto. Para verificar la normalidad se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk(Shaphiro & Wilk, 1965); los resultados mostraron un p-valor, mayor a 0.05 (nivel de significancia empleado) lo que permite aceptar la hipótesis nula de normalidad de los datos cumpliendo así con el primer supuesto.

A continuación, se muestra la tabla 3 el resumen estadística T-Student del estudio.

Parámetros	Comparativa	Servidor	
		Prueba F	Prueba T
Latencia	SDN y Convencional	Sig=0,006<0,05	Sig=0,063>0,05
		Existe diferencia significativa, entre las dos tecnologías.	Se acepta la hipótesis de igualdad. Basado en las medias la mejor respuesta es con el escenario convencional con HP.
Jitter	SDN y Convencional	Sig=0,098>0,05	Sig=0,083>0,05
		No existe diferencia significativa, entre las dos tecnologías.	Acepta la hipótesis de igualdad. Basado en las medias la mejor respuesta es con el escenario convencional con HP.

Parámetros	Comparativa	Servidor	
		Prueba F	Prueba T
Ancho de banda	SDN y Convencional	Sig=0,431>0,05	Sig=0,192>0,05
		No existe diferencia significativa, entre las dos tecnologías.	Acepta la hipótesis de igualdad. Basado en las medias la mejor respuesta es con el escenario convencional con HP.
Pérdida de paquetes	SDN y Convencional	Sig=0,01<0,05	Sig=0,01<0,05
		Existe una diferencia significativa, entre las dos tecnologías.	Rechaza la hipótesis de igualdad. Basado en las medias, la mejor respuesta es con el escenario convencional HP.

Tabla 3 – Resumen estadística T-Student del estudio en el Servidor

De los resultados obtenidos se determina que las políticas de QoS propuestas se pueden aplicar en ambas tecnologías. En el análisis estadístico se determina que no existe diferencia significativa en los parámetros de: jitter y ancho de banda, con lo que las respuestas en la tecnología SDN y Convencional son similares, sin determinarse una diferencia, lo que abre un abanico a las posibilidades de integración en la tecnología convencional, generando similar rendimiento al evaluar estos parámetros.

En los parámetros de latencia y pérdida de paquetes existe una diferencia significativa, al examinar las medias, determinando una mejor respuesta en el escenario convencional para estos parámetros. Los gráficos de los resultados de las variables analizadas en el servidor, se muestran en la figura 4 de Latencia-Servidor, la figura 5 muestra Jitter-Servidor. La figura 6 el Ancho de Banda - Servidor y la figura 7 la Pérdida de Paquetes – Servidor.

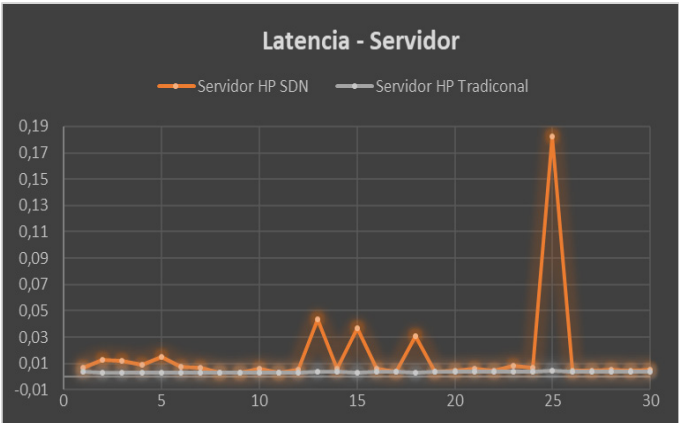


Figura 4 – Latencia-Servidor.

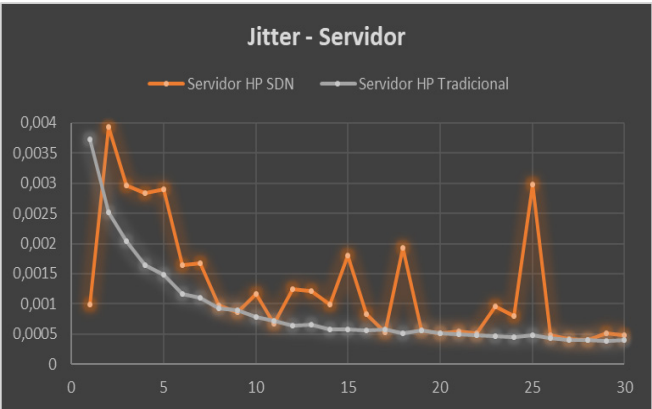


Figura 5 – Jitter – Servidor

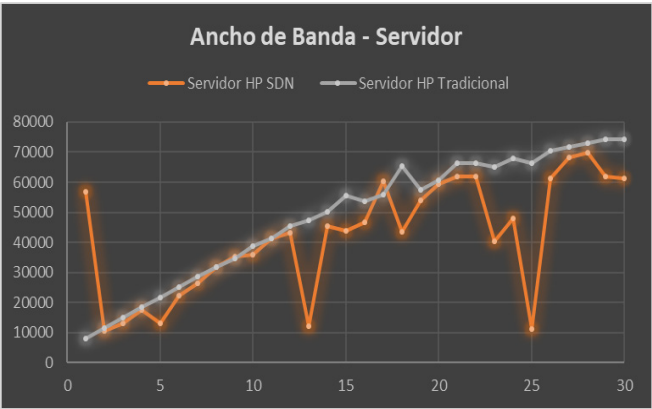


Figura 6 – Ancho de Banda – Servidor

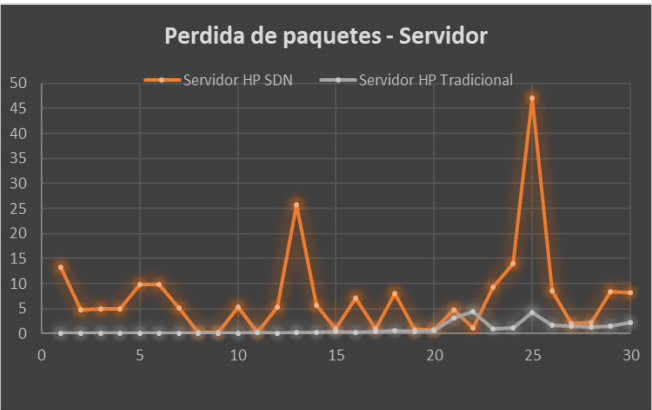


Figura 7 – Pérdida de Paquetes - Servidor

5. Conclusiones

En base a los experimentos realizados y al análisis estadístico T Student se evaluó el rendimiento de los parámetros de calidad de servicio: latencia, jitter, ancho de banda y pérdida de paquetes; determinándose que las Políticas de QoS aplicadas, trabajan en ambas tecnologías: SDN y Convencional, mostrando que no existe diferencia significativa al evaluar los parámetros: latencia, jitter, ancho de banda y pérdida de paquetes en el servidor. Esto implica que las tecnologías pueden trabajar en conjunto e integrar las tecnologías emergentes como SDN en redes de campus académicos, lo que abre un novedoso campo para la innovación y la sociedad del conocimiento, lo que genera nuevas posibilidades de investigación y desarrollo tecnológico.

Al comparar los escenarios de estudio SDN y convencional, según la prueba T-Student, presenta una diferencia significativa en el análisis de los parámetros de latencia y pérdida de paquetes; siendo mejor los resultados obtenidos al utilizar la configuración convencional. Esto se debe principalmente por el procesamiento adicional que efectúa el controlador al realizar la decisión. El paquete que ingresa al switch (SDN) es cotejado con las reglas contenidas (flujos), al no encontrarse una coincidencia el switch realiza la consulta al controlador; en el controlador procesa dicha consulta para posterior responder al switch, de ser necesario agregar o no un nuevo respectivo flujo, en el cual se da el adecuado tratamiento al paquete, que se ha visto reflejado en estos parámetros.

Al introducir las redes SDN en escenarios reales y documentarlo, se genera información importante en el avance de la integración de tecnologías emergentes en las redes de campus convencionales impulsadas por las políticas gubernamentales contribuyendo a la sociedad del conocimiento en el Ecuador.

Referencias

- A. Lind, D., G. Marchal, W., & Wathen, S. (2018). Estadística : aplicada a los negocios y a la economía / Douglas A. Lind, William G. Marchal, Samuel A. Wathen. *SERBIULA (sistema Librum 2.0)*.
- Barba, R. G., Criollo, M., Aimacana, N., Manosalvas, C., & Silva-Cardenas, C. (2019). QoS Policies to Improve Performance in Academic Campus and SDN Networks. *Proceedings - 2018 10th IEEE Latin-American Conference on Communications, LATINCOM 2018*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/LATINCOM.2018.8613227>
- Cisco. (2009). Cisco TelePresence Network Systems 1.1 Design Guide, (6387). Retrieved from https://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/solutions/TelePresence_Network_Systems_1-1_DG.pdf
- HPE. (2016). *HPE VAN SDN Controller and Applications Support Matrix*. Retrieved from <https://support.hpe.com/hpesc/public/docDisplay?docId=c05040231>
- ITU-T. (2001). G.1010: End-user multimedia QoS categories. *International Telecommunications Union*. Retrieved from <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010-200111-I>
- ITU. (2017). *Global Cybersecurity Index (GCI) 2017. ITU Report*. Retrieved from https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/str/D-STR-GCI.01-2017-PDF-E.pdf

- Kang, N., Rottenstreich, O., Rao, S. G., & Rexford, J. (2017). Alpaca: Compact network policies with attribute-encoded addresses. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 25(3), 1846–1860. <https://doi.org/10.1109/TNET.2017.2657123>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature reviews in Software Engineering Version 2.3. *Engineering*, 45(4ve), 1051. <https://doi.org/10.1145/1134285.1134500>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información y del conocimiento - MINTEL del Ecuador. (2018). *Libro Blanco de la Sociedad de la Información y del conocimiento* (Vol. 1.1). Quito.
- Network Research Group. (2010). WAND Group | WAND. Retrieved August 28, 2018, from <http://wand.net.nz/wits/>
- Nikolaos, K. (2017). *Software Defined Networks Reactive Flow Programming and Load Balance switching*. University Of Piraeus. Retrieved from http://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/10680/Kallianiotis_Nikolaos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ONF. (2015). *OpenFlow Switch Specification*. Retrieved from <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf>
- OpenDaylight Projects. (2018). *Home - OpenDaylight*. Retrieved August 28, 2018, from <https://www.opendaylight.org/>
- Padilla, R., Cadena, S., Enríquez, R., Córdova, J., & Llorens, F. (2017). Uetic, 1–93. Retrieved from https://www.cedia.edu.ec/dmdocuments/publicaciones/Libros/UTIC_2017.pdf
- Planas, A. L. (2016). *Configuración de un entorno de emulación que permita el diseño, desarrollo y evaluación de software - defined networks con calidad de servicio, (2003)*. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/81460/104342.pdf?sequence=1%7B%7D&isAllowed=y>
- Quan, L., & Heidemann, J. (2010). On the characteristics and reasons of long-lived internet flows. *Proceedings of the 10th Annual Conference on Internet Measurement - IMC '10*, 444. <https://doi.org/10.1145/1879141.1879198>
- Quispe, C. (2017a). *Diseño e Implementacion de un Balanceador de Carga para la Optimizacion de los Recursos de Proteccion en una red Enterprise mediante un Banco de Firewalls N:1 controlado via SDN*. Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Quispe, C. (2017b). *Pure Python library for handling libpcap savefiles*. Retrieved from <https://github.com/wirkentod/pypcapfile>
- Quispe, C. (2017c). *Trace Traffic Analyzer*. Retrieved from <https://github.com/wirkentod/Trace-Traffic-Analyzer>
- R. Mosavi, F. Farabi, S. K. (2015). *Optimal Choice of Random Variables in D-ITG Traffic Generating Tool using Evolutionary Algorithms*. Retrieved from <http://ijeee.iust.ac.ir/article-1-692-en.pdf>

- Ryu SDN Framework Community. (2017). *Ryu SDN Framework*. Retrieved September 16, 2020, from <https://ryu-sdn.org/>
- Scopus. (2018). *What is Scopus Preview? - Scopus: Access and use Support Center*. Retrieved June 21, 2019, from https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/15534/supporthub/scopus/#tips
- Shaphiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52(3), 591–611.
- Stallings William. (2016). Foundations of Modern Networking. *Network* (Eighth Edi, Vol. 139). *Pearson Education*, Inc. <https://doi.org/10.1007/11935070>
- Wang, K. (2016). *Installation Guide - Floodlight Controller - Project Floodlight*. Retrieved September 15, 2020, from <https://floodlight.atlassian.net/wiki/spaces/floodlightcontroller/pages/1343544/Installation+Guide>

Control difuso de bajo costo para sistemas de calefacción en avícolas

Cristhian Monta¹, Paulina Ayala¹, Javier Caceres¹, Carlos A. Garcia¹, Marcelo Garcia^{1,2}

cmonta8008@uta.edu.ec; ep.ayala@uta.edu.ec; wcaceres0740@uta.edu.ec;
ca.garcia@uta.edu.ec; mv.garcia@uta.edu.ec

¹ Universidad Técnica de Ambato, 180103, Ambato, Ecuador.

² University of Basque Country, 48013, Bilbao, Spain.

Pages: 180–193

Resumen: La evolución de las tecnologías avanza a pasos agigantados, es por eso que el presente artículo describe la implementación de un prototipo de monitorización y control difuso con restricciones de bajo costo para controlar la calefacción de granjas avícolas mediante el uso del suelo radiante y energías solar. El sistema de monitoreo está basado en servidores LAMP de distribución gratuita. El control difuso está implementado con funciones de membresía con restricciones para mantener en un estado óptimo la calefacción. Las bondades que brinda el sol y la ubicación geográfica del Ecuador, hacen de este recurso una fuente importante de energía renovable que fue utilizado para el proceso de calefacción de ambientes, generando así un entorno idóneo para el proceso de crianza de las aves.

Palabras-clave: Automatización de bajo costo, control difuso, energía solar, servidor LAMP.

Low cost diffuse control for poultry heating systems

Abstract: The evolution of technologies advances by leaps and bounds, that is why this article describes the implementation of a prototype monitoring and diffuse control with low-cost restrictions to control the heating of poultry farms through the use of radiant flooring and solar energy. The monitoring system is based on free distribution LAMP servers. Fuzzy control is implemented with membership functions with restrictions to keep the heating in an optimal state. The benefits offered by the sun and the geographical location of Ecuador, make this resource an important source of renewable energy that was used for the process of heating rooms, thus generating an ideal environment for the process of raising birds.

Keywords: Low-cost automation, diffuse control, solar power, LAMP server.

1. Introducción

La avicultura abarca un campo fundamental para el sustento y desarrollo socioeconómico del país, tal como la agricultura, compuesta por una gran cadena de producción

brindando abasto para el alimento de las aves, siendo el maíz, la soya, y los balanceados en general; además abarca el sector del transporte que brinda su servicio para el traslado del producto hacia distintos lugares. La mano de obra que se utiliza en este campo también está involucrada directa e indirectamente, ya que se mejora la calidad y estilo de vida de los habitantes aledaños al sector de producción.

Para la crianza de pollos en avícolas se debe contar con un entorno correctamente monitoreado y controlado que permita un adecuado desarrollo del ave y se pueda aumentar la producción al menor costo posible, los principales factores a controlar son la temperatura y la humedad que inciden en la asimilación del alimento y en el consumo de energía del ave.

En los últimos años se han presentado varios estudios de la automatización y monitoreo de la humedad, temperatura y otros variables físicas de las avícolas. La mayor parte de estas investigaciones se han limitado a implementar un sistema de automatización que controle la temperatura y la humedad pero dando poco énfasis en el modelo de control (Nuyya, Sergeeva, y Khomenko 2019) debido a esto en los resultados se puede observar un tiempo de 400 segundos necesarios para estabilizarse los valores a controlar en comparación con el set point, otros estudios aplican el Sliding Mode Controller que permite desarrollar un modelo matemático dinámico no lineal considerando el balance de termino y la masa del sistema (Upachaban, Boonma, y Radpukdee 2016) donde el sobre impulso de la temperatura con el set point es mayor en comparación con la humedad.

La lógica difusa se ha utilizado para desarrollar modelos de optimización de sistemas avícolas porque permiten seleccionar de manera más efectiva la combinación correcta de recursos energéticos, teniendo en cuenta los diversos criterios conflictivos como costes, disponibilidad de suministro, tipo de energía, etc. (Ahamed et al. 2016) Los modelos basados en la lógica difusa han conseguido soluciones más reales a partir de fuentes de energía renovables. También permite conceptualizar la incertidumbre del sistema en un parámetro cuantificable nítido. Por lo tanto, se pueden adoptar modelos basados en lógica difusa para que la planificación y control de calefacción en avícolas llegue a soluciones prácticas. (Padilha, Farret, y Popov 2001)

Este proyecto propone el uso de la plataforma de entorno de desarrollo de software libre Arduino y el sistema operativo Raspbian de la distribución Linux, además del uso de sensores y actuadores para el control del proceso y el aprovechamiento del sol como energía renovable para impulsar calor a través del sistema avícola, posteriormente el proceso de almacenamiento de los datos se lo realiza en la base de datos montada en servidores LAMP mediante la utilización de la microcomputadora Raspberry Pi3, como última etapa, una vez obtenidos los datos, estos fueron mostrados mediante conexión inalámbrica hacia los usuarios registrados en el sistema.

El contenido del artículo está estructurado de la siguiente manera: la Sección 2 presenta una serie de estudios que relacionaron y alentaron el desarrollo de este trabajo; La sección 3 proporciona conceptos breves que permitirán una mejor comprensión de las siguientes secciones; Sección 4; Presenta el caso de estudio utilizado para el método de investigación. En la Sección 5, la idea se plasma con la implementación del control difuso con restricciones en sistemas de bajo-costo; los resultados obtenidos se presentan

en la Sección 6 a continuación; Finalmente, las conclusiones y el posible trabajo futuro se presentan en la Sección 7.

2. Trabajos Relacionados

Esta sección analiza la investigación y el trabajo directamente relacionado con las áreas en las que se han utilizado diferentes métodos de control para invernaderos o avícolas. La lógica difusa también se analiza su uso problemas de control de bajo costo y como solucionan problemas específicos como la memoria del sistema. A continuación, se detalla los trabajos relacionados más importantes

Para verificar el funcionamiento del sistema desarrollado se utilizaron datos de granjas reales como de una granja de baja escala de 100 codornices (Nuyya et al. 2019) donde por el tamaño, el microclima cambio rápidamente y dificulto llegar a los parámetros recomendados, otro estudio (Upachaban et al. 2016) utilizó los datos del clima cálido y húmedo de una avícola de Tailandia junto con las fluctuaciones de temperatura y humedad del medio ambiente mostrando que presento mayores limitaciones para controlar la humedad con respecto a la temperatura.

Sin embargo existen otros trabajos que no tratan sobre el modelo matemático de control, solo describen su diseño utilizando como procesador una Raspberry Pi, sensores, enfriadores y calentadores que comienzan a funcionar automáticamente cuando los parámetros ambientales pasan a valores no prestablecidos (Choukidar y Dawande 2018) otros para el desarrollo del dispositivos generalmente utilizan un Arduino como controlador junto con sensores y actuadores que disponen de un servidor para monitorizar los datos en tiempo real (Upachaban et al. 2016) además en el trabajo (Wicaksono, Perdana, y Mayasari 2018) su estudio se centra en el error que presentan sus sensores y en la distancia de funcionamiento de la tecnología utilizada para transmitir los datos desde la avícola hasta el servidor.

Con respecto a los sensores utilizados para obtener los datos de temperatura y humedad un gran número de trabajos utilizan los sensores DHT11 (Adhitya et al. 2016, 2017; Najmurrokhman et al. 2019; Wicaksono et al. 2018) y DHT22 (Nuyya et al. 2019) que pertenecen a la misma familia, estos sensores poseen un procesador interno que proporciona una señal digital lo que hace fácil la adquisición de los datos desde un Arduino además es menos propensa al ruido, a diferencia del LM35 (Choukidar y Dawande 2018) que suministra una señal analógica.

Los estudios que utilizan lógica difusa para el control de temperatura y humedad lo aplican para el cultivo del hongo ostra consumido en Indonesia, el trabajo (Najmurrokhman et al. 2019) utiliza el método de inferencia difusa de Mamdani que para su diseño se utilizaron dos entradas: temperatura, humedad y una salida: la velocidad del ventilador, como microprocesador se utilizó un Arduino cuyo parámetro de configuración de la temperatura y humedad es 27 grados y 60%- 90% respectivamente En el trabajo hace una comparación con el método de inferencia de Sugeno y acota que el modelo de Mamdani es más natural además los resultados muestra que se tarda entre 80 a 470 segundo el tiempo en estabilizarse los valores. El trabajo (Adhitya et al. 2017), en cambio realiza una comparación entre el método de inferencia difusa de Sugeno y una red neuronal de alimentación directa que juntamente con un Arduino desarrollan un sistema

que permite controlar la temperatura y humedad para aumentar la productividad de los hongos ostras y cuyos resultados muestran que la red neuronal presenta mejores tiempos de respuesta que van desde los 70 a 113 segundos.

Otro estudio que aplica la lógica difusa (Purwanto, Utami, y Pramono 2018), es un sistema IOT que permite controlar y monitorizar la temperatura, humedad y consumo de voltaje de una sala de servidores que puede proporcionar mensaje de alerta temprana por redes sociales y cuyos tiempos de respuesta se obtuvieron con una desviación promedio de 0.01225 en las pruebas.

Los estudios muestran que actualmente ya se pueden desarrollar sistemas IOT que monitorean y controlan la temperatura, humedad y pueden distinguir si están enfermas en una etapa temprana, las aves de corral, identificando, registrando la información de cada ave y su posterior análisis de trazabilidad, combinando el procesamiento de imágenes y análisis de sonido (Raj y Jayanthi 2018).

3. Marco Teórico

En esta sección se presenta rápidamente los conceptos usados para la resolución de la problemática presentado anteriormente.

3.1. La industria de la Avicultura

La cría de aves para la producción de carne de pollo es una industria gigantesca que según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), para el 2020 alcanzara 100.5 millones de toneladas, superando al 2019 aunque exista la amenaza emergente del COVID-19, generando ganancias principalmente en Brasil, China y Estados Unidos.

La variable física más importante para controlar y monitorizar es la temperatura, porque si se producen cambios bruscos, el pollo tiende a estresarse, reduce su consumo de alimento y eleva el consumo de agua, en cambio una humedad elevada ayuda al desarrollo de enfermedades respiratorias, evitando así el adecuado crecimiento y emplume del ave. La ventilación está dirigida para el piso y evitar la proliferación de hongos. (Elham et al. 2020)

Un entorno correctamente monitoreado y controlado, evita en gran medida la mortalidad de los pollos que por lo general llega al 5% y ayuda a la mejora de la asimilación del alimento, llevando a un crecimiento satisfactorio y un peso final idóneo a las 6 o 7 semanas. (Soh et al. 2018) esto se puede lograr gracias a la automatización de bajo costo que utiliza una plataforma con hardware y software de precios bajos que alcanzan entre el 80 % al 90% del valor de un proceso de automatización integral pero su nivel de eficiencia es similar. La automatización de bajo costo estudia la zona intermedia que se encuentra entre la zona de trabajo puramente manual y la zona de automatización plena, por lo que permite avanzar hacia un nivel tecnológico más elevado.

3.2. Raspberry PI

Es una plataforma de hardware de bajo costo que incluye todos los elementos ofrecido por un ordenador. Hoy en día ha adquirido una gran importancia en el mercado debido a su diversidad de opciones para proyectos en redes informáticas, circuitos electrónicos,

robótica, domótica, seguridad, programación, entre otras áreas tecnológicas. Incluso algunos autores como García y otros (Alqinsi et al. 2018; Garcia et al. 2017) han utilizado la Raspberry Pi como solución para el Internet de las Cosas (IoT).

El modelo actual de Raspberry Pi 3 es B, que cuenta con una unidad de almacenamiento con ranura para tarjetas MicroSD y está equipado con 35000 paquetes y programas pre-compilados en un formato que facilita la instalación. Además, a pesar de estar adaptado a la perfección a la placa, no es un sistema operativo afiliado a la fundación Raspberry Pi, ya que fue creado por un pequeño equipo dedicado a los desarrolladores, por lo que permite la instalación de una gran variedad de sistemas operativos, incluyendo Noobs, Ubuntu MATE y Windows.

3.2. Lógica Difusa

El proceso que se desea automatizar es un proceso no lineal donde es recomendable utilizar el control difuso que puede ser expresado como un control a través de palabras que interpretan el sentido común, en lugar de números, pero las variables no se pueden determinar por sentido común, es necesario valores numéricos para lo cual se debe realizar una adaptación previa del estado de las variables para que puedan ingresar al controlador, a este proceso se lo conoce como Fusificación. En esta etapa se les otorga a los datos un grado de membresía dentro de las expresiones posibles, se busca la correspondencia entre el estado de la variable y las funciones de pertenencia para tal propósito, ya establecido los estados de las variables de forma lingüística se puede determinar las relaciones lógicas entre ellas y relacionándolas se interpretan el sentido común y esto permite generar el control deseado. (Mastacan y Dosoftei 2018)

En el control difuso la fusificación es realizada en todo instante, es la puerta de entrada al sistema de inferencia difusa que es necesaria para calcular el resultado de las variables de salida del consecuente, este resultado es en términos difusos, es decir que se obtiene un conjunto difuso de salida de cada regla, que posteriormente junto con las demás salidas de reglas se obtendrá la salida del sistema. Existe una gran cantidad de métodos de inferencia difusa, pero hay dos que generan mejores resultados en el campo del control estos son inferencia de Mamdani por mínimos (Mamdani minimum inference), y la inferencia Sugeno Takagi.

El siguiente paso es la Defusificación que consiste en traducirlas a números El sistema de inferencia difusa obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, pero es en términos difusos. Esta conclusión o salida difusa es obtenida por la etapa de inferencia borrosa, esta genera un conjunto borroso pero el dato de salida del sistema debe ser un número real y debe ser representativo de todo el conjunto obtenido en la etapa de agregado, es por eso que existen distintos métodos que arrojan resultados distintos (Oussalah, Nguyen, y Kreinovich 2001)

4. Caso de estudio

En una granja avícola es muy importante poder controlar sus parámetros ambientales debido a que influyen directamente en el crecimiento y desarrollo del ave, por esta razón

dependiendo de su edad se recomienda una temperatura, en un rango de 30°C hasta los 25°C y la humedad del 50% , logrando garantizar un ambiente idóneo para el ave y así un producto final de muy buena calidad, cumpliendo las normas y estándares establecidos (Padilha et al. 2001).

En este estudio se presenta un sistema que permite el control y monitorización de varios parámetros físicos de una avícola utilizando lógica difusa con restricciones junto a la plataforma de entorno de desarrollo de software libre Arduino, el sistema operativo Raspbian, además del uso de sensores y actuadores para el control del proceso y el aprovechamiento del sol como energía renovable para impulsar calor a través del sistema y el monitoreo se lo realiza gracias al desarrollo de un servidor LAMP.

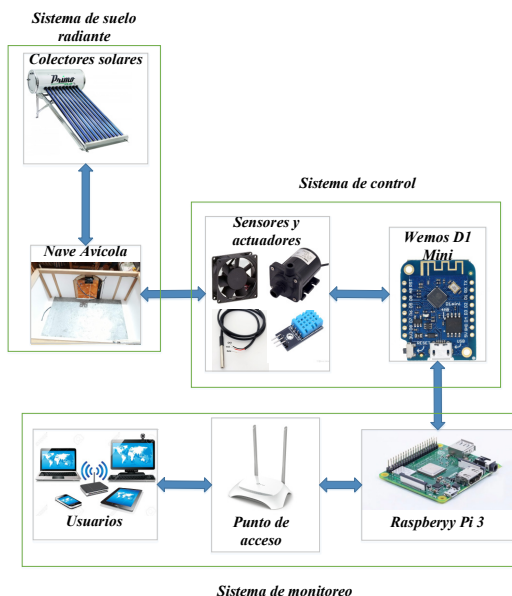


Figura 1 – Diseño del prototipo del sistema de control y monitoreo

Mediante la integración de todos los dispositivos que se presentan en las tres secciones de la Figura 1 se logró, en primer lugar, la obtención de datos reales de temperatura y humedad mediante el uso de los sensores DS18B20 y el DHT11, una vez obtenidos estos datos son enviados al microcontrolador el cual realiza dos procesos: primero, el proceso de control que utiliza lógica difusa mediante el uso del modelo de Mandani con restricciones para adaptar las señales de temperatura y humedad idóneas para el correcto crecimiento y desarrollo de las aves en las naves, y segundo el proceso de almacenamiento de los datos en la base de datos montada en servidores LAMP mediante la utilización de la Raspberry Pi3, como última etapa, una vez obtenidos los datos, estos fueron mostrados mediante conexión inalámbrica hacia los usuarios registrados en el sistema.

5. Propuesta de Solución

Para el desarrollo del estudio primero es necesario determinar los valores adecuados de cada una de las variables a controlar como son la temperatura, humedad y ventilación.

La temperatura al momento de encubar el ave debe ser de 37.6°C, durante las dos primeras semanas de vida del ave no puede controlar su temperatura corporal, a este fenómeno se lo denomina “poiquilotermia”, pasado este tiempo las aves ya han desarrollado la habilidad de regular su temperatura, llamando a este proceso “homeotermia”, y además mientras sigue creciendo necesitan valores de temperatura menores. Respecto a la humedad que es la saturación del agua en porcentaje con respecto al aire en cualquier temperatura dada. Los rangos de humedad afectan directamente al ave en la capacidad para enfriarse mediante el jadeo, influyendo directamente en la producción de amoniaco dentro del criadero lo que afecta a su crecimiento (Ver Tabla 1).

Edad del Ave	Temperatura °C	Humedad Relativa (%)
1er. – 2do. Día	30 – 32	35 – 40
3er. – 7mo. Días	29 – 30	35 – 45
2da. Semana	27 – 29	40 – 45
3era. Semana	25 – 27	45 – 50
4ta. Semana	23 – 25	50 – 55
5ta. Semana en adelante.	21 – 23	55 – 60

Tabla 1 – Valores de la temperatura y humedad por edad del ave

La ventilación es otra variable que se controla basándose en sistemas que operan mediante depresión, llamada así porque dentro de la granja avícola se tiene una presión inferior a la del exterior, tratando de lograr que la granja avícola presente un vacío. Para llegar a este punto es necesario controlar con precisión tanto la entrada y extracción de aire en las ventanas, consiguiendo así el ajuste entre la entrada de aire y la salida de aire.

Como en las variables anteriores, las aves necesitan cierta cantidad de caudal o aire neto (m^3/h) como se muestra en la siguiente Tabla 2:

Edad (días)	Peso (Kg)	Caudal de Aire ($m^3/h/pollo$)
7	0.189	0.22
42	2.2	9.8

Tabla 2 – Ventilación por depresión en naves avícolas.

5.1. Inferencia Difusa basado en programación lineal

La programación lineal difusa propone que el modelo difuso es equivalente a una maximización de programación lineal clásica se puede presentar como: $cTx \geq \sim z$, $Ax \leq \sim b$ y $x \geq 0$

Donde $\geq \sim$ es la versión difusa de $\geq$ que significa “esencialmente mayor o igual que; y $\leq \sim$ que significa “esencialmente menor o igual que”. Las restricciones difusas del modelo se muestran a continuación en las ecuaciones del (1) al (4):

$$\lambda p_i + t_i \leq p_i; \quad i = 1, \dots, m + 1 \quad (1)$$

$$B_i x - t_i \leq d_i \quad (2)$$

$$t_i \leq p_i \quad (3)$$

$$x, t \geq 0 \quad (4)$$

Donde λ es una variable nueva introducida que puede tomar valores entre 0 y 1, p_i es el intervalos de tolerancia de cada fila i ; t_i es una variable que mide el grado de violación de la restricción i ; B es equivalente al combinatorio de $-c$ y A de la función objetivo y las restricciones, B_i es el elemento de la fila i de B ; d es el combinatorio de $-z$ y b de la función objetivo y las restricciones; d_i es el elemento de la fila i de d . (Kumar et al. 2013)

Para implementar el control con restricciones se eligió el sistema de inferencia tipo Mamdani debido a que está avalado para trabajar con dos o más salidas al mismo tiempo. Este tipo de inferencia difusa fue aplicado al control de temperatura y humedad utilizando el software MATLAB, y su herramienta “Fuzzy Logic Tool Box que sirve para desarrollar sistemas difusos, utilizando la interfaz gráfica de usuario (GUI). (Fannakh, Ehafyani, y Zouggar 2019)

Para el análisis del sistema de inferencia difusa el toolbox FLT Fuzzy Logic Toolbox hizo uso de cinco herramientas gráficas para el modelado, el apartado de la edición y por último la observación El sistema de inferencia difuso Fuzzy Inference System permite determinar el método de inferencia utilizado, para este estudio se utilizó el método de inferencia tipo Mandani y además ingresar las variables de entrada: temperatura y humedad y las variables de salida: tiempo del motor y bits del ventilador se utilizó restricciones que se explicarán en los apartados siguientes.

Para las funciones de membresía, se analizaron los valores mínimos y máximos tanto de las variables de entrada como de las variables de salida, como se observa en la tabla 3 para luego redactarse cinco funciones de membrecía por cada variable

Variable	Valor máximo	Valor mínimo	Valor medio	Valor referencia máximo	Valor referencia mínimo	Valor referencia medio
Temperatura	32.69 °C	20.5 °C	26.595 °C	6.095 °C	-6.095 °C	0 °C
Humedad	60%	35%	47.5%	12.5%	-12.5%	0%
Tiempo Motor	25 s	0 s	12.5 s	12.5 s	-12.5 s	0 s
Bits Ventilador	1023 bits	500 bits	761.5 bits	261.5 bits	-261.5 bits	0 bits

Tabla 3 – Valores máximos y mínimos de variables.

En las funciones de membresía se utilizó una función trapezoidal en cada uno de los extremos ya que algunos parámetros toman valores no finitos, centrando así el valor medio en 0 y para mejorar la precisión, se hace uso de funciones triangulares debido a que facilitan los cálculos realizados por el controlador porque son funciones lineales.

Con base a la información revisada se ha desarrollado una propuesta de programación lineal difuso difuso (PLEM), mediante la aplicación de incertidumbre en las restricciones de demanda de temperatura y humedad. Para representar las incertidumbres de demandas de temperatura y humedad en el modelo PLEM se utilizan los siguientes parámetros difusos.

Parámetros difusos:

- λ_1 Grado de satisfacción de temperatura.
- λ_2 Grado de satisfacción de la humedad.
- $\bar{T}$ Tolerancia máxima en la demanda de temperatura.
- $\bar{H}$ Tolerancia máxima en demanda de humedad

Otros parámetros basados en el consumo de energía de actuadores del plantel avícola son:

- fe_{pd} Flujo de energía [Wh/día] entre los puntos p y d ; $p=1,...,P$; $d \in Q_p$.
- fp_{pd} Flujo de potencia [W] entre los puntos p y d ; $p=1,...,P$; $d \in Q_p$.
- ES_s Energía generada [Wh/día] por un panel de tipo s ; $s=1,...,S$.
- ED_p Demanda de energía [Wh/día] del punto p ; $p=1,...,P$.
- PD_p Demanda de potencia [W] del punto p ; $p=1,...,P$.
- PI_i Potencia máxima [W] de un inversor de tipo i ; $i=1,...,I$.

Una estrategia para manejar la incertidumbre en parámetros como: el consumo de energía, valores de consigna de temperatura y humedad, es a través, de la representación de estos, por medio de funciones de pertenencia o membresía las que se muestran en la siguiente figura 2.

La figura 2 muestra las membresías de cada uno de los parámetros que se transforman en difusos, temperatura, humedad y demanda de energía y consumo de potencia de los actuadores. El lado derecho de la figura muestra matemáticamente cada tramo de la función. Se establece que los parámetros difusos se integrarán en las restricciones de demanda de temperatura, humedad, energía y potencia, a continuación, se muestra las nuevas restricciones difusas de energía (5) y potencia (6).

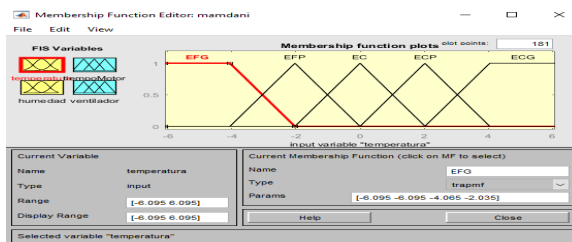


Figura 2 – Funciones de membresía para la variable temperatura

$$\sum_{q=1|p \in Q_q}^P fe_{qp} + \sum_{s=1}^S ES_s \cdot xs_{ps} \geq \tilde{E}(\lambda_1 - 1) + ED_p + \sum_{d \in Q_p} fe_{pd} \quad p = 1, \dots, P \quad (5)$$

$$\sum_{q=1|p \in Q_q}^P fp_{qp} + \sum_{i=1}^I PI_i \cdot xi_{pi} \geq \tilde{P}(\lambda_2 - 1) + PD_p + \sum_{d \in Q_p} fp_{pd} \quad p = 1, \dots, P \quad (6)$$

Los datos utilizados para la variable de temperatura fueron como valor máximo (32°C) y el valor mínimo (20°C) como lo indica la tabla 3 que son los datos de frontera de temperatura a controlar. Tomando como ejemplo la función EFP, el valor inferior $p = -4$, el superior $d = 0$ y el valor modal $m = 2$ Para las funciones de membresía de la variable Tiempo Motor, el tiempo que demora en conseguir la variación de temperatura desde el valor mínimo (20°C) hasta el valor máximo (32°C), fue de 25 segundos desde el encendido del motor que permite la circulación del flujo de agua, por lo tanto, al igual que el caso anterior se procedió a centrar el valor medio en 0. Tomando como ejemplo la función TFP, el valor inferior $p = -8.34$, el superior $d = 0$ y el valor modal $m = 4.17$

Para el caso de la variable de entrada humedad, la diferencia entre el valor máximo (60%) y mínimo (35%) nos provee el rango de porcentaje de humedad a controlar, Tomando como ejemplo la función HNP, el valor inferior $p = -8.34$, el superior $d = 0$ y el valor modal $m = 4.17$ Los datos que controlan la variable ventilador para las funciones de membresía están dados en bits, para este caso se toma en cuenta la resolución de operación del microcontrolador, tomando su valor mínimo igual a 0 y el máximo igual a 255 bits. Tomando como ejemplo la función BNP, el valor inferior $p = -174.33$, el superior $d = 0$ y el valor modal $m = 87.16$

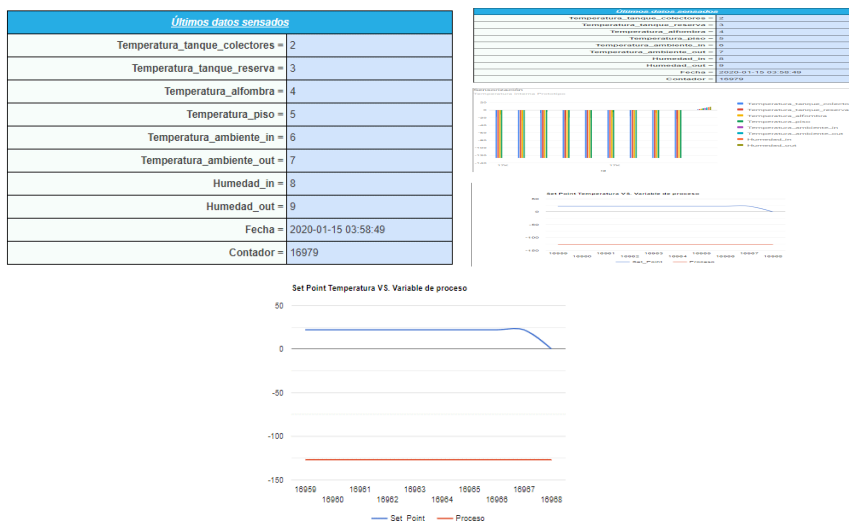


Figura 3 – Página Web desarrollada para monitorizar proceso

5.2. Servidor LAMP

El sistema desarrollado tiene la capacidad de monitorizar en tiempo real las variables a controlar para lo que se desarrolló un servidor LAMP, el servidor hace uso del protocolo HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto), el mismo que nos permite interactuar con la capa de aplicación dentro del modelo TCP/IP, en resumidas cuentas, nos permite la comunicación de las páginas web desde un servidor web hacia el navegador del usuario (Ver Figura 3).

También se utiliza un servidor MySql, el mismo que permite gestionar base de datos relacionadas de código abierto, fundamentales dentro del proyecto, pudiendo así almacenar los datos de las variables a controlar y organizarlos en formas de tablas, pudiendo así relacionar cada tabla de la manera en que sea requerida por el usuario. La creación de estas tablas se la realiza utilizando el lenguaje específico SQL (Lenguaje de consulta estructurado), logrando dar instrucciones directas al servidor

6. Resultados

Para realizar las pruebas del sistema se tomó los diferentes valores de la temperatura y humedad recomendados por edad del ave, las gráficas muestran la respuesta del sistema, cada uno representando un valor de temperatura y humedad diferente dentro de los valores establecidos, los datos se tomaron cada hora durante las 24 horas por 21 días con diferentes puntos de consigna y fueron almacenados en la base de datos. Para valores recomendados a partir de la tercera semana de edad del ave en adelante, con respecto a la temperatura, que va desde los 21 °C a 27 °C, presenta un desvío de $\pm 0.06^{\circ}\text{C}$ al valor de referencia y para la humedad que va desde los 45% hasta los 60% presenta un desvío de $\pm 0.5\%$ a $\pm 1.5\%$ a diferentes horas del día. Ver Figura 4 y 5

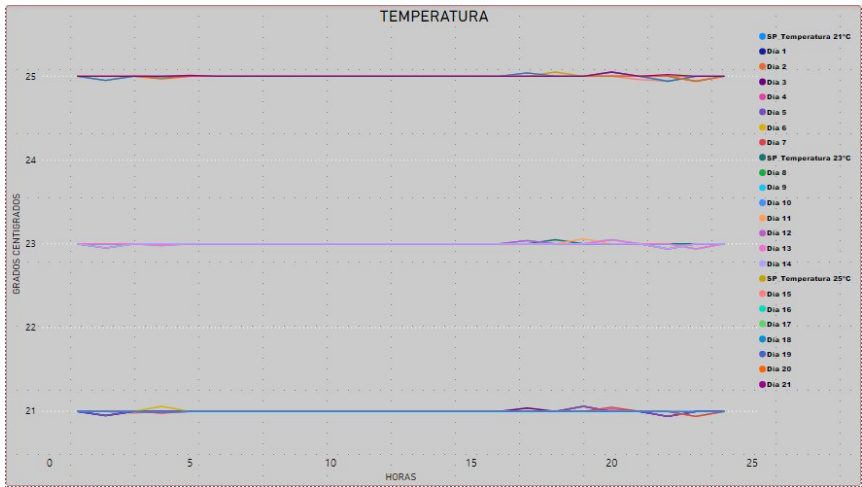


Figura 4 – SP Vs. Temperatura

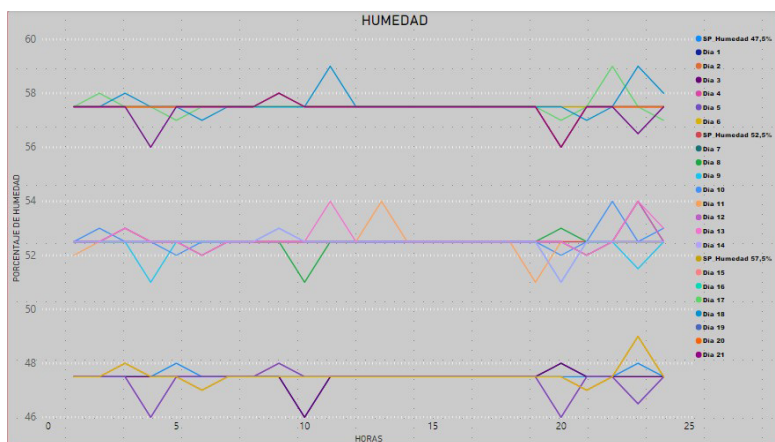


Figura 5 – SP Vs. Humedad

Los resultados muestran que el sistema funciona correctamente debido a que la temperatura y la humedad de la avícola se mantiene durante las 24 horas, aunque los valores de referencia varíen, las desviaciones son relativamente bajas ya que fluctúan entre los 0.06 °C a los 0.09 °C con respecto a la temperatura y la humedad fluctúa entre los 0.5% al 1.5%.

7. Conclusiones

Este trabajo presenta la implementación de un sistema de control difuso con restricciones utilizando el método de inferencia de Mamdani, que permitió controlar dos variables de entrada y dos variables de salida para lo que fue necesario saber el comportamiento de la planta y así establecer las funciones de membresías y reglas de control difuso, donde el conjunto de reglas difusas arrojaron un solo valor en la defuzzificación utilizando en método del centroide. El uso de control difuso permite al sistema ser eficiente, versátil y sencillo como lo muestran los resultados.

El sistema además permite el monitoreo en tiempo real de los procesos que se realizan en la planta desde cualquier parte del mundo, utilizando hardware y software libre con un servidor LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) que permite una navegación segura, un mantenimiento bajo, reduciendo considerablemente sus costo, logrando ser un solución de automatización de bajo costo, El sistema de suelo radiante evita la emisión de gases invernadero que mejora la calidad de vida de los operarios y de las aves de corral.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo en la realización del proyecto “Metodologías para el diseño de Fog Computing y controladores Inteligentes basados en IEC 61499” y al SENESCYT con sus convocatorias “Convocatoria Abierta 2011”, “Convocatoria Abierta 2013”, y “Convocatoria Abierta 2018”

Referencias

- Adhitya, R. Y., M. A. Ramadhan, S. Kautsar, N. Rinanto, S. T. Sarena, Ii Munadhif, Mat Syai'in, R. T. Soelistijono, y Adi Soeprijanto. (2016). «Comparison methods of Fuzzy Logic Control and Feed Forward Neural Network in automatic operating temperature and humidity control system (Oyster Mushroom Farm House) using microcontroller». Pp. 168-73 en *2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*. Bandung, Indonesia: IEEE.
- Adhitya, R. Y., M. A. Ramadhan, S. Kautsar, N. Rinanto, S. T. Sarena, Ii Munadhif, Mat Syai'in, R. T. Soelistijono, y Adi Soeprijanto. (2017). «Comparison methods of Fuzzy Logic Control and Feed Forward Neural Network in automatic operating temperature and humidity control system (Oyster Mushroom Farm House) using microcontroller». *2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices, ISESD 2016* 168-73.
- Ahamed, Nizam Uddin, Zahari Bin Taha, Ismail Bin, Mohd Khairuddin, M. F. Rabbi, S. A. M. Matiur Rahaman, y Kenneth Sundaraj. (2016). «Fuzzy logic controller design for intelligent air-conditioning system». *Proceedings of 2016 2nd International Conference on Control Science and Systems Engineering, ICCSSE 2016* (July): 232-36.
- Alqinsi, Padlan, Ian Joseph Matheus Edward, Nanang Ismail, y Wahyudin Darmalaksana. (2018). «IoT-Based UPS Monitoring System Using MQTT Protocols». Pp. 1-5 en *2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*. Nusa Dua: IEEE.
- Choukidar, Geetanjali A., y N. A. Dawande. 2018. «Smart Poultry Farm Automation and Monitoring System». *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2017* 1-5.
- Elham, Mohammad Naim, Mohammad Sadegh Sabeghi, Faris Salim Al-Rasbi, Salwani Mohd Daud, Nur Qamarina Noor, Rohilah Sahak, y Ahmad Akmaluddin Mazlan(2020). «A Preliminary Study on Poultry Farm Environmental Monitoring using Internet of Things and Blockchain Technology». *ISCAIE 2020 - IEEE 10th Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics* 273-76.
- Fannakh, Mhamed, Mohamed Larbi Ehafyani, y Smail Zouggar. (2019). «Hardware implementation of the fuzzy logic MPPT in an Arduino card using a Simulink support package for PV application». *IET Renewable Power Generation* 13(3): 510-18.
- Garcia, Carlos A., Esteban X. Castellanos, Jorge Buele, John Espinoza, Carmen Beltran, Marco Pilatasig, Eddie Galarza, y Marcelo V. Garcia.(2017). «Fuzzy control implementation in low cost CPPS devices». Pp. 162–167 en *2017 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI)*. IEEE.
- Kumar, Darshan, Jagdev Singh, Om Pal Singh, y Seema. (2013). «A fuzzy logic based decision support system for evaluation of suppliers in supply chain management practices». *Mathematical and Computer Modelling* 58(11-12):1679-95.

- Mastacan, Lucian, y Constantin Catalin Dosoftei. (2018). «Temperature Fuzzy Control System with Mamdani Controller». *EPE 2018 - Proceedings of the 2018 10th International Conference and Expositions on Electrical And Power Engineering* 352-56.
- Najmurokhman, Asep, Kusnandar, Udin Komarudin, Ahmad Daelami, y Fajar Adiputra. (2019). «Design and Implementation of Temperature and Humidity Control System in Oyster Mushroom Cultivation using Fuzzy Logic Controller». Pp. 146-50 en *2019 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA)*. Tangerang, Indonesia: IEEE.
- Nuyya, O., E. Sergeeva, y A. Khomenko. (2019). «Modeling, simulation and implementation of a low- scale poultry farm control system». *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops 2018-Novem*:1-5.
- Oussalah, Mourad, Hung T. Nguyen, y Vladik Kreinovich. (2001). «A new derivation of centroid defuzzification». *IEEE International Conference on Fuzzy Systems* 2(September 2016):884-87.
- Padilha, Adriano Sanick, Felix Alberto Farret, y Vladimir Andreevich Popov. (2001). «Neurofuzzy controller in automated climatization for poultry houses». *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)* 3(C):70-75.
- Purwanto, F. H., E. Utami, y E. Pramono. (2018). «Implementation and Optimization of Server Room Temperature and Humidity Control System using Fuzzy Logic Based on Microcontroller». *Journal of Physics: Conference Series* 1140(1):390-95.
- Raj, A. Arun Gnana, y J. Gnana Jayanthi. (2018). «IoT-based real-time poultry monitoring and health status identification». Pp. 1-7 en *2018 11th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA)*. Sharjah: IEEE.
- Soh, Zainal H. C., Mohd H. Ismail, Firzana H. Otthaman, Muhamad K. Safie, Muhamad A. A. Zukri, y Syahrul A. C. Abdullah. (2018). «Development of automatic chicken feeder using Arduino Uno». *2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering, ICEESE 2017* 2018-January:120-24.
- Upachaban, Teerapon, Apichart Boonma, y Thana Radpukdee. (2016). «Climate Control System of a Poultry House Using Sliding Mode Control». *International Symposium on Flexible Automation, ISFA 2016* 1-3.
- Wicaksono, Danar, Doan Perdana, y Ratna Mayasari. (2018). «Design and analysis automatic temperature control in the broiler poultry farm based on wireless sensor network». *Proceedings - 2017 2nd International Conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering, ICITISEE 2017* 2018-Janua:450-55.

Evaluación Longitudinal del Desarrollo de la Motricidad Gruesa en Niños de 4 y 5 años usando Tecnología Kinect

Carlos Núñez¹, Jenrry Nuñez-Nuñez¹, Félix Fernández-Peña^{1,2}

ci.nunez@uta.edu.ec; jnunez5291@uta.edu.ec; fofernandez@uees.edu.ec

¹ GIIA, Universidad Técnica de Ambato, Los Chasquis, 180207, Ambato, Ecuador.

² ESAI, Universidad Espíritu Santo, Km. 2,5 vía Samborondón, 092301, Guayaquil, Ecuador.

Pages: 194–204

Resumen: El presente artículo muestra los resultados obtenidos en la implementación de un juego electrónico para desarrollar la motricidad gruesa en niños de 4 a 5 años. El niño debe atrapar la mayor cantidad posible de objetos en movimiento en un entorno virtual. Como resultado de un experimento llevado durante un período de cuatro meses, con la participación de 193 niños de dos instituciones educativas de la provincia Tungurahua, se verificó un incremento del 43% del nivel de acierto en acciones que involucran la motricidad gruesa de los niños. El uso de un estadígrafo T-Student para comparar el desarrollo de la motricidad entre niños que utilizaron o no el juego permitió concluir que la diferencia entre ellos fue estadísticamente significativa (valor-p 7.91848E-05), lo que fundamenta la validez de la propuesta como apoyo al desarrollo de la motricidad gruesa.

Palabras-clave: tecnología Kinect; motricidad; educación; juego electrónico.

Longitudinal Evaluation of the Gross Motor Improvement in 4 to 5 Year Old Children by using Kinect Technology

Abstract: This paper shows the results of the implementation of an electronic game for improving gross motor skills of 4 to 5 years old children. The objective of the children in the game is to catch as many moving objects as possible in a virtual environment. As a result of an experiment carried out over a period of four months, with the participation of 193 children from two educational institutions in the Tungurahua province, there was an increase of 43% in the level of success in actions involving the gross motor skills of children. A t-student test showed a significant difference on the behavior of children who played and played not with the proposed game with a p-value of 7.91848E-05. All these results support the validity of the proposal for improving gross motor skills in children 4 to 5 years old.

Keywords: Kinect technology; motor skills; education; electronic game.

1. Introducción

En el siglo XXI, el panorama de la educación ha cambiado dramáticamente por el uso de la tecnología en la enseñanza y el aprendizaje (Ojeda-Castelo, Piedra-Fernandez, Iribarne, & Bernal-Bravo, 2018) (Altıok, Başer, & Yükseltürk, 2019). Hoy en día, los niños son llamados nativos digitales ya que la tecnología juega un papel fundamental en su desarrollo (Vintimilla Garcia, 2018).

Por su parte, la tecnología Kinect ha sido utilizada con determinado éxito en el aprendizaje y rehabilitación de personas con necesidades educativas especiales (Ojeda-Castelo, Piedra-Fernandez, Iribarne, & Bernal-Bravo, 2018) (Kang & Chang, 2019). En estudios previos, la efectividad de su uso fue corroborada al compararla con el sistema Vicon basado en marcadores con un 78% de precisión (Metcalf, 2013). Otro estudio refleja la eficacia de la utilización de la consola de video juegos (Xbox 360-kinect) como medio terapéutico para el desarrollo psicomotriz en usuarios con discapacidad intelectual leve, en edades comprendidas de 6 -8 años del Instituto de Educación Especial del Norte de Quito (Manzano Sánchez & Congo Mina, 2016). Por su parte, un estudio en la universidad de Kirikkale, Turquía, mostró resultados positivos en el uso de esta tecnología como apoyo al aprendizaje de un idioma extranjero por parte de estudiantes universitarios. (Altıok, Başer, & Yükseltürk, 2019). Otros estudios afirman haber corroborado que existe un gran potencial en el uso de la tecnología Kinect para apoyar procesos de enseñanza-aprendizaje (Kang & Chang, 2019).

Sin embargo, en la revisión de literatura que hemos llevado a cabo, no hemos encontrado trabajos vinculados al desarrollo de la motricidad, mientras que, en Ecuador, los niños ya para el 2016 fueron considerados el segundo grupo etario con mayor número de personas que utiliza computadoras, con el 63.4% (Inec, 2016). De ahí que el presente trabajo proponga la evaluación del uso de la tecnología Kinect para mejorar la motricidad de niños de 4 y 5 años.

Entendemos por motricidad lo que se define, desde varias corrientes, como la capacidad de producir movimientos que son producto de la contracción muscular que se produce por los desplazamientos y segmentos del cuerpo, la actitud y el mantenimiento del equilibrio (Gil Madrona, Cuesta, Prieto, Gómez, & Barrera, 2016) (Viciano Garofano, Cano-Guirado, Chacón Cuberos, Padial Ruz, & Martínez Martínez, 2017). Decidimos trabajar con esta edad porque, según Bossavit, & Pina (2014), es entre los 4 y 5 años que se vuelve fundamental que queden consolidadas las capacidades de motricidad gruesa del ser humano.

La propuesta tiene en cuenta la metodología para la creación de herramientas metodológicas de Ojeda-Castelo, Piedra-Fernandez, Iribarne, & Bernal-Bravo (2018) para trabajar los contenidos en las diferentes áreas por medio de actividades globalizadas que tengan interés y significado en los niños (Baqai, Memon, & Memon, 2018) e involucra la construcción de un juego electrónico que, utilizando la tecnología Kinect, mejore la motricidad de niños de 4 y 5 años.

Se opta por trabajar con esta tecnología porque 1) su costo es bajo en comparación con otras disponibles en el mercado, 2) se encuentra disponible en la Universidad Técnica de Ambato, entidad que auspicia este proyecto, y 3) porque se tiene experiencia en el desarrollo de aplicaciones con esta tecnología. La investigación estuvo centrada en

la medición del nivel de desarrollo de la motricidad de los niños producto del uso del juego construido.

El artículo está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se argumentan los antecedentes investigativos de la propuesta. En la sección 3 se describen los materiales y métodos utilizados en la investigación llevada a cabo. En la sección 4 se discuten los resultados obtenidos para, finalmente, arribar a conclusiones en la sección 5.

2. Antecedentes investigativos

La tecnología Kinect ha sido utilizada en el entorno educativo y de rehabilitación puesto que el modelo de interacción que propone involucra todo el cuerpo (Bossavit, & Pina, 2014). Su uso ha abarcado el área del aprendizaje de niños con necesidades especiales (Bossavit, & Pina, 2014); (Ojeda-Castelo, Piedra-Fernandez, Iribarne, & Bernal-Bravo, 2018), la terapia de padecimientos como la Hemiplejia (Rahman, 2015), programas de rehabilitación de cirugías ortopédicas (Su, 2016) y el facilitar la interacción de personas de la tercera edad con los sistemas de cómputo (Saenz-de-Urturi, García-Zapirain, & Mendez-Zorrilla, 2015).

El Departamento de búsqueda de información tecnológica de la Universidad de Incheon, de Corea del Sur, implementó un sistema de reconocimiento de gestos 3D basado en Kinect para la manipulación interactiva de objetos tridimensionales en software de visualización educativa. El sistema desarrollado detecta y rastrea las manos humanas en las imágenes RGBD capturadas por un sensor Kinect. El sistema fue implementado utilizando C# y Emgu CV 2.3.0, y su funcionamiento se evaluó en una computadora portátil con Windows 7. Su rendimiento demuestra la precisión promedio general de alrededor del 90% en el reconocimiento del estado de las manos y los comandos de gestos bajo diversas condiciones de iluminación ambiental (Lee, Gu, Lim, & Kim, 2013).

Por su parte, Llanga, Cujano Ortega, & Vera Gaibor (2016) desarrollaron un sistema capaz de reconocer al esqueleto del usuario en cualquier ambiente que desee realizar actividades físicas e interactuar con él por medio de comandos de voz y audio pudiendo ser de gran utilidad en cualquier campo. Macher, Mittet, Landes, & Lachat (2015) concluyeron que el potencial del dispositivo Kinect v2 para fines de modelado de objetos pequeños se puede medir tanto de manera cualitativa como cuantitativa. Por su parte, es de destacar que ciertas pruebas de rendimiento llevadas a cabo llevan a sugerir que el hardware a utilizar para soportar aplicaciones con Kinect incluya 6Gb de RAM y un procesador i7 con tarjeta gráfica dedicada (Villavicencio & Mauricio, 2017).

En las fuentes consultadas no fue posible constatar la existencia de un software como el que se propone. Por otro lado, se evidenció que existen experiencias que demuestran la utilidad de esta tecnología en ámbitos de aprendizaje que involucran la interacción física de los individuos. En este sentido, queda evidenciada la pertinencia y actualidad del tema tratado.

3. Materiales y métodos

Para la selección de la tecnología se comparó Kinect 2.0 con Asus Xtion PRO LIVE, según se muestra en la tabla 1. Kinect 2.0 es capaz de reconocer puntos específicos del

cuerpo humano (extremidades), algo que es fundamental para el análisis del desarrollo de la motricidad gruesa de los individuos. Además, trabaja con mayor resolución y es más eficiente al utilizar USB 3.0 en la comunicación entre la aplicación y el dispositivo. Teniendo en cuenta la superioridad del hardware Kinect 2.0 y el tener un precio similar, se optó por utilizar esta tecnología.

Kinect 2.0	Asus Xtion PRO LIVE
Conexión promedio de USB 3.0	Conexión promedio de USB 2.0
Reconocimiento de puntos específicos del cuerpo humano, y 6 personas al mismo tiempo.	Reconocimiento de todo el cuerpo humano de un usuario.
Resolución de 1920x 1080.	Resolución de 640 * 480 pixeles.
Precio bordeando los 200 \$.	Precio bordeando los 200 \$.
Reconocimiento de movimiento en lugares oscuros.	Movimientos ya definidos en su sistema.
Supresión de ruido del ambiente.	Dos micrófonos incorporados.

Tabla 1 – Comparativa entre tecnologías

Utilizando Visual Studio .NET y lenguaje de programación C#, se implementó el aplicativo que integra el hardware escogido con el sistema de gestión que permite interpretar los resultados del jugador según los objetivos educativos que se persiguen con este.

Como parte del trabajo de investigación, se llevó a cabo una evaluación experimental de los resultados. El juego se aplicó en dos colegios de la provincia de Ecuador-Tungurahua, específicamente en Ambato (Colegio Madre Gertrudis ubicado en el cantón Cevallos y Unidad Fiscomisional Tirso de Molina ubicado en Izamba). Uno de estos colegios se encuentra en una zona rural y el otro en una zona urbana. En total, en el experimento participaron 193 niños, con edades de entre 4 y 5 años, de los cuales 105 fueron hombres y 88 mujeres, 51 de la zona rural y 142 de la zona urbana. El juego se aplicó por un periodo de 4 meses, una vez por semana.

Adicionalmente se aplicó un estadígrafo T-Student para comparar el resultado del desarrollo de la motricidad gruesa entre igual cantidad de niños del curso anterior y del presente. Los valores para la comparación fueron el resultado de aplicar el test de desarrollo de la motricidad gruesa de Haeussler y Marchant para niños entre 4 y 5 años. La selección de los resultados muestreados fue aleatoria y el tamaño de muestra fue de 24 individuos, lo que equivale a un 12% de la población con que se trabajó en el experimento.

3.1. Arquitectura del software propuesto

La figura 1 ilustra la arquitectura que soporta el juego implementado. Para el proyecto se utilizó un Kinect para Xbox, el cual visualiza los movimientos de los niños en una pantalla. La programación se realizó en Visual Studio Community, en C#, con las bibliotecas propias de SDK Kinect v2. El servidor de base de datos que se utilizó fue SQL Server 2012.

El Kinect lee los movimientos de los niños/niñas, para lo cual se conecta con el computador a través de un cable Adaptador Kinect Xbox 360 Fat y PC Eliminator mediante el SDK 2, el cual recolecta los movimientos y los envía al computador, siguiendo la propuesta de trabajos previos (DiFilippo, & Jouaneh, 2015) (Tao, Archambault, & Levin, 2013).

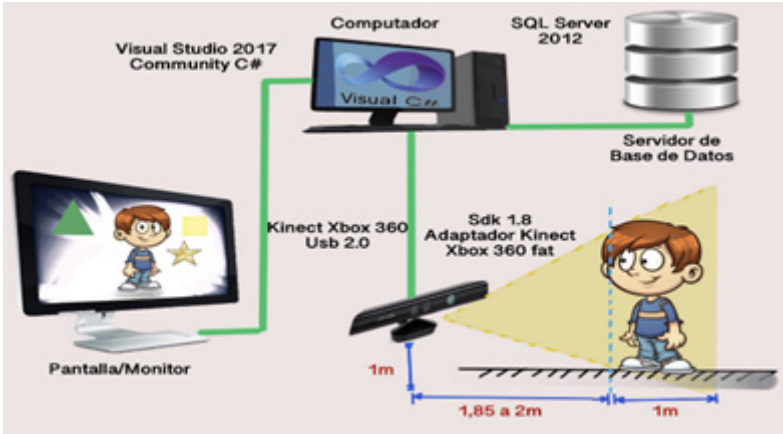


Figura 1 – Arquitectura del software propuesto

3.2. Funcionamiento del software propuesto

El ingreso al juego es con un usuario y contraseña, para acceder a la información del perfil de los niños/niñas que se han registrado para jugar (ver figura 2). Si el usuario no está registrado en la base de datos, podemos registrar un nuevo usuario dando clic en registrarse y llenando campos pertinentes: nombre, apellido, edad, nivel, género, usuario y contraseña. El registro se lleva a cabo con la finalidad de tener un histórico de que niño en específico jugó y cuáles fueron sus resultados en cada juego, de la que se controla la fecha y hora en que tiene lugar. De esta forma, se hace un seguimiento del avance de los niños. Los datos personales de los niños se encuentran protegidos bajo la Ley Orgánica de Protección de Datos (LOPD). Cabe mencionar que los experimentos con relación a la utilidad del juego tuvieron lugar con autorización de las autoridades de cada plantel educativo y los datos personales se anonimizaron para garantizar su protección.

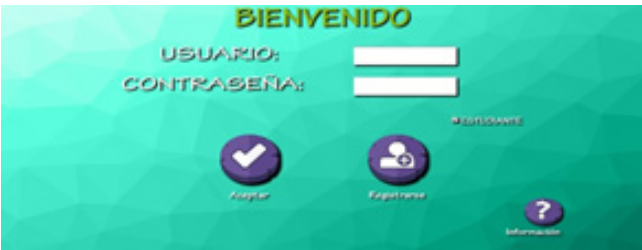


Figura 2 – Ingreso al software propuesto

Una vez autenticado, el usuario tiene la posibilidad de elegir una figura geométrica para jugar; entre las figuras tenemos: círculo, cuadrado, triángulo. En la figura 3 se muestra una vista de la interfaz del juego proyectada en una pantalla.



Figura 3 – Selección de figura geométrica en el juego

Elegida la figura por el usuario, se mostrará el nombre del jugador y, conforme se vaya dando el juego, el número de aciertos y desaciertos se irá actualizando. El niño deberá esquivar las figuras que no sean del tipo que ha seleccionado y sí hacer contacto con las figuras del tipo que escogió.

En el juego, el uso del Kinect permite virtualizar al niño en la pantalla, según su posición relativa con relación a las figuras que caen en el entorno virtual donde juega. El niño gana puntos por todas las figuras del tipo correcto que “captura” y recibe una penalización por cada figura del tipo incorrecto con la que hace contacto en el entorno virtual. Además de figuras geométricas, en el entorno virtual caen estrellas que también deberán ser evitadas por el jugador. Se utilizó un fondo negro para que el niño no tenga distracciones con respecto a su meta en el juego. No obstante, esto es configurable, lo que se puede utilizar para aumentar el nivel de complejidad de la aplicación.

El niño tiene un total de 60 segundos para jugar; este puede saltar, moverse hacia la derecha, hacia la izquierda, y hacia al frente, dentro de un área de 3 x 3 metros.



Figura 4 – Apariencia del software desarrollado durante el juego

para moverse y recolectar las figuras, además de que su desplazamiento dentro del juego mejoró notablemente.

La tabla a continuación (tabla 2), muestra los resultados obtenidos en la aplicación del estadígrafo T-Student, que se utilizó para determinar si es significativa la diferencia de resultados al utilizar el juego propuesto o no. Cada uno de los criterios de motricidad se evaluó en valores de 0 (no cumple) y 1 (sí cumple). El resultado de aplicar el estadígrafo fue positivo con un valor-p de $7.91848E-05$, lo que fundamenta la validez de la propuesta como apoyo al desarrollo de la motricidad gruesa.

	Grupo sin Juego	Grupo con Juego
<i>Media</i>	<i>0.25</i>	<i>0.875</i>
<i>Varianza</i>	<i>0.2</i>	<i>0.116666667</i>
<i>n</i>	<i>24</i>	<i>24</i>
<i>Correlación Pearson</i>	<i>0.21821789</i>	
<i>df</i>	<i>15</i>	
<i>Valor P</i>	<i>7.91848E-05</i>	

Tabla 2 – Validación de resultados utilizando un estadígrafo T-Student

La opinión de los docentes también fue favorable con respecto a la usabilidad del juego y a la motivación que despertó en los niños. De esta forma, se corroboró el beneficio de la tecnología Kinect para el desarrollo de la motricidad gruesa.

Con relación a los costos, se debe tomar en cuenta el costo del Kinect 2.0 y de un computador que tenga las características necesarias para soportar la tecnología, las que fueron analizadas en la sección 2. Los precios se justifican totalmente para su uso en instituciones educativas y no excluyen su uso a nivel familiar.

5. Conclusiones

El éxito en el uso del juego implementado está ligado al componente lúdico y de motivación que incorporó el uso de tecnología para plantearle retos físicos de desarrollo a los niños. Esta tecnología permitió dinamizar las destrezas, habilidades y capacidades del infante, con un toque de entusiasmo en el proceso de aprendizaje. Se concluye que, en los primeros años de educación inicial, es decir en niños entre 4 y 5 años, el uso de herramientas como el juego propuesto, facilitan el desarrollo de la motricidad gruesa por parte de los niños.

6. Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato y a la “Dirección de Investigación y Desarrollo” (DIDE) por su apoyo en la ejecución de este proyecto, en particular a través del proyecto: “Aplicación de la tecnología Kinect en el desarrollo de la motricidad gruesa de niños/niñas de Educación Inicial Subnivel II, grupo 4 años”

aprobado según Resolución Nro. UTA-CONIN-2020-0302-R del 21 de agosto de 2020. sffisei05.

Referencias

- Altıok, S., Başer, Z., & Yükseltürk, E. (2019). Enhancing metacognitive awareness of undergraduates through using an e-educational video environment. *Computers and Education*, 129-145. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.05.010>
- Baqai, A., Memon, K., & Memon, A. (2018). Interactive Physiotherapy: An Application Based on Virtual Reality and Bio-feedback. *Wireless Pers Commun* 106, 1719–1741. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5382-5>
- Bossavit, B., & Pina, A. (2014). Designing educational tools, based on body interaction, for children with special needs who present different motor skills. 2014 International Conference on Interactive Technologies and Games, 63-70. <https://doi.org/10.1109/iTAG.2014.16>
- DiFilippo, N., & Jouaneh, M. (2015). Characterization of Different Microsoft Kinect Sensor Models. *IEEE Sensors Journal*, 4554-4564. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2422611>
- Gil Madrona, P., Cuesta, C., Prieto, A., Gómez, I., & Barrera, M. (06 de 2016). La Contribución de los Juegos Cooperativos a la Mejora Psicomotriz en Niños de Educación Infantil. Obtenido de RUIdeRA: <http://hdl.handle.net/10578/13797>
- Gil, H., Santos, T., & Honório, S. (2018). The Contribution of Nintendo Wii® in children's motricity. 2018 International Symposium on Computers in Education (SIIE), 1-5. <https://doi.org/10.1109/SIIE.2018.8586777>
- Han, R., Feng, Z., Xu, T., Ai, C., Xie, W., Zhang, K., & Li, J. (2017). Multi-sensors Based 3D Gesture Recognition and Interaction in Virtual Block Game. 2017 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV), 391-392. <https://doi.org/10.1109/ICVRV.2017.00091>
- Inec (2016). La tecnología y los más pequeños del hogar. INEC - Instituto Nacional de estadística y Censos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2016/infografia.pdf
- Kang , Y.-S., & Chang , Y.-J. (2019). Using game technology to teach six elementary school children with autism to take a shower independently. *Developmental Neurorehabilitation*, 329-337. <https://doi.org/10.1080/17518423.2018.1501778>
- Kang, Y., & Chang, Y. (2019). Using a motion-controlled game to teach four elementary school children with intellectual disabilities to improve hand hygiene. *National Science Council*, 942-951. <https://doi.org/10.1111/jar.12587>
- Lee, J., Gu, H., Lim, J., & Kim, H. (2013). Interactive manipulation of 3D objects using Kinect for visualization tools in education. 2013 13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013), 1220-1222. <http://doi.org/10.1109/ICCAS.2013.6704175>

- Llanga, A., Cujano Ortega, M. V., & Vera Gaibor, C. I. (2016). Diseño e implementación de un sistema interactivo mediante tecnología Kinect v2.0 para desarrollar las habilidades psicomotrices en personas con discapacidad visual. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/>: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2845>
- Macher, H., Mittet, M.-A., Landes, T., & Lachat, E. (2015). First experiences with kinect V2 sensor for close range 3D modelling. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 93–100. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-93-2015>
- Manzano Sánchez, W. S., & Congo Mina, E. N. (2016). Eficacia de la utilización de consola de video juegos (xbox 360-kinect) aplicado como medio terapéutico para el desarrollo psicomotriz en usuarios con discapacidad intelectual leve, en edades comprendidas de 6 -8 años del instituto de educación especial d. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11821>
- Metcalf, C. (2013). Markerless Motion Capture and Measurement of Hand Kinematics: Validation and Application to Home-Based Upper Limb Rehabilitation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2184-2192, Aug. 2013, <https://doi.org/10.1109/TBME.2013.2250286>
- Ojeda-Castelo, J., Piedra-Fernandez, J., Iribarne, L., & Bernal-Bravo, C. (2018). Application for learning and rehabilitation in special educational needs. *Multimedia Tools and Applications*, 24013–24039. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-5678-1>
- Rahman, M. (2015). Multimedia environment toward analyzing and visualizing live kinematic data for children with hemiplegia. *Multimedia Tools and Applications*, 5463–5487. <https://doi.org/10.1007/s11042-014-1864-y>
- Saenz-de-Urturi, Z., García-Zapirain, B., & Mendez-Zorrilla, A. (2015). Elderly user experience to improve a kinect-based game playability. *Behaviour and Information Technology*, <https://doi.org/10.1080/0144929X.2015.1077889>
- Su, C. (2016). Developing and evaluating effectiveness of 3D game-based rehabilitation system for Total Knee Replacement Rehabilitation patients. *Multimedia Tools and Applications*, 10037–10057. <https://doi.org/10.1007/s11042-015-2820-1>
- Tao, G., Archambault, P., & Levin, M. (2013). Evaluation of Kinect skeletal tracking in a virtual reality rehabilitation system for upper limb hemiparesis. 2013 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR), 164-165. <https://doi.org/doi:10.1109/ICVR.2013.6662084>
- Viciano Garofano, V., Cano-Guirado, L., Chacón Cuberos, R., Padial Ruz, R., & Martínez Martínez, A. (2017). Importancia de la motricidad para el desarrollo integral del niño en la etapa de educación infantil. *EMASF: Revista Digital de Educación Física*, 89 - 105. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6038088>
- Villavicencio, L., & Mauricio, W. (23 de 01 de 2017). Diseño e implementación de un sistema de realidad virtual basado en la tecnología Kinect 2.0 para la evaluación del movimiento corporal humano. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13094>

- Vintimilla Garcia, M. J. (07 de 2018). La Utilización De Tecnologías “Tablets” Con La Aplicación “Tiny Tap” En La Sala De Actividades, Con Niños Y Niñas De 5 A 6 Años De Edad, En Un Colegio Privado De La Ciudad De Quito. <https://iconline.ipleiria.pt/>: <http://hdl.handle.net/10400.8/3529>
- Wei, T., Lee, B., Qiao, Y., Kitsikidis, A., Dimitropoulos , K., & Nikos , G. (2015). Experimental study of skeleton tracking abilities from microsoft kinect non-frontal views. 2015 3DTV-Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON), 1-4. <https://doi.org/10.1109/3DTV.2015.7169367>

Evaluación de la accesibilidad en sistemas de teleconferencia para usuarios con baja visión durante la COVID-19

Patricia Acosta-Vargas¹, Gloria Acosta-Vargas², Julián Andrés Galindo Losada³, Marco Santórum³, Gabriel Elías Chanchí G.⁴, Mario Gonzalez¹

patricia.acosta@udla.edu.ec; gfacosta@puce.edu.ec; julian.galindo@epn.edu.ec;
marco.santorum@epn.edu.ec; gchanchig@unicartagena.edu.co;
mario.gonzalez.rodriquez@udla.edu.ec

¹Universidad de Las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, SI2Lab, Av. de los Granados E12-41 y Colimes, 170125, Quito, Ecuador.

²Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Medicina, Av. 12 de Octubre 1076 y Roca, 17012184, Quito, Ecuador.

³Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Av. Ladrón de Guevara 253, 170517, Quito, Ecuador.

⁴Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Avenida del Consulado, Calle 30 No. 39B - 192, 130001, Cartagena de Indias, Colombia.

Pages: 205–218

Resumen: La Organización Mundial de la Salud indica que más de 1000 millones de personas en todo el mundo viven con alguna forma de discapacidad; alrededor de 200 millones de personas experimentan dificultades considerables en su funcionamiento físico. A futuro, la discapacidad será una preocupación importante, ya que tiende a aumentar debido a que la población está envejeciendo y el riesgo de discapacidad es alto en adultos mayores, debido a que con la edad su visión se reduce. Por otro lado, la COVID-19 ha acelerado la tecnología propiciando el teletrabajo en las áreas de educación, salud y empresarial. Sin embargo, no todas las aplicaciones cumplen con los estándares de accesibilidad. En este estudio, se toman las diez aplicaciones más utilizadas en teleconferencia para evaluar el cumplimiento de los lineamientos de accesibilidad, relacionadas con los principios: perceptible, operable, comprensible y robusto, propuestos en las WCAG 2.1 y WCAG 2.2.

Palabras-clave: *Evaluación de la accesibilidad; baja visión; COVID-19; teleconferencia; WCAG 2.1.*

Evaluation of accessibility in teleconferencing systems for low vision users during COVID-19

Abstract: The World Health Organization indicates that more than 1 billion people worldwide live with some form of disability; about 200 million people experience significant difficulties in their physical functioning. In the future, disability will be a

considerable concern, as it tends to increase as the population ages and the risk of disability is higher in older adults because their vision decreases with age. On the other hand, the COVID-19 has accelerated technology by encouraging teleworking in the areas of education, health, and business. However, not all applications comply with accessibility standards. In this study, the ten most used applications in teleconferencing are taken to evaluate compliance with accessibility guidelines, related to the principles: perceptible, operable, understandable, and robust, proposed in WCAG 2.1 and WCAG 2.2.

Keywords: *Accessibility evaluation; low vision; COVID-19; teleconference; WCAG 2.1.*

1. Introducción

Actualmente, la pandemia derivada de la enfermedad por coronavirus (COVID-19), ocasionada por el virus del síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2) (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2020) sugiere que las personas apliquen el distanciamiento social para reducir la propagación del virus, esta situación ha acelerado dramáticamente la tecnología para realizar el teletrabajo a través del uso de sistemas de teleconferencias aplicadas al ámbito educativo, de salud y empresarial. Por otro lado, existen usuarios que sufren cambios o que tienen ciertos problemas de discapacidad, entre ellos, el más frecuente es el de discapacidad visual, específicamente relacionado con la baja visión. Actualmente, existen muchas aplicaciones que facilitan la realización del teletrabajo en las actividades diarias, pero no todas son accesibles, lo que significa que un gran número de usuarios no puede acceder fácilmente e interactuar con dichas aplicaciones. En esta investigación se evalúa la accesibilidad en las aplicaciones más usadas por parte de los usuarios con baja visión. Los investigadores hicieron uso de una inspección manual porque no existe una herramienta que evalúe los parámetros de accesibilidad en los sistemas de teleconferencia. En la evaluación se aplican los lineamientos de accesibilidad propuestos por la Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 (World Wide Web Consortium, 2018) y el borrador de las WCAG 2.2 (World Wide Web Consortium (W3C), 2020). Los lineamientos de accesibilidad incluyen cuatro principios que son: perceptible, operable, comprensible y robusto. Además comprende tres niveles de accesibilidad, dependiendo de las políticas y la legislación de cada país en la mayoría de los casos se acepta hasta el nivel “AA” de cumplimiento.

Los resultados de la evaluación de accesibilidad en los sistemas de teleconferencia muestran que estas aplicaciones no son accesibles e inclusivas porque no cumplen con los requisitos mínimos de accesibilidad basados en los principios de las normas WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium, 2018) y WCAG 2.2. Al mismo tiempo, se sugiere incluir opciones que permitan: 1) administrar el modo de contraste y color en las imágenes, 2) usar en entornos con bajo luz y activación de flash, 3) guiar al usuario con un asistente de audio, 4) proporcionar un texto alternativo, 5) garantizar el uso del teclado accesible. Esta investigación pretende servir como referencia para los desarrolladores de sistemas de teleconferencia y para que los usuarios puedan elegir una plataforma que cumpla con el mayor número de lineamientos de accesibilidad. Las pautas de la norma WCAG 2.2 utilizan el mismo modelo de conformidad que WCAG 2.0. Se pretende que los sistemas de videoconferencia cumplan con las WCAG 2.2 (World Wide Web Consortium (W3C),

2020) de la mismo modo que cumplan con las pautas de las normas WCAG 2.0 y WCAG 2.1 (World Wide Web Consortium, 2018), lo que significa que se cumplen con los requisitos de cualquier política que haga referencia a las WCAG 2.0 o WCAG 2.1, al tiempo que satisfacen mejor las necesidades de los usuarios de las aplicaciones.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera: en la sección dos se muestra la revisión de literatura y los antecedentes, en la sección tres se describe la metodología y el caso de estudio y en la sección cuatro se presentan los resultados y la discusión, finalmente, en la sección cinco, se incorporan las conclusiones y propuestas a futuros trabajos.

2. Revisión de la Literatura

Actualmente, el Coronavirus COVID-19 y la cuarentena obligatoria decretada en la mayoría de los países del mundo ha generado un alto impacto en los profesionales y en las comunidades en donde vivimos, por lo que las personas se han visto en la necesidad de adaptarse de manera acelerada a la tecnología, rompiendo las barreras del tiempo y del espacio.

La declaración de emergencia sanitaria tiene varios impactos en la relación laboral entre el estudiante y docente, entre el trabajador y empleador. En este aspecto, uno de los tópicos de mayor relevancia, es la posibilidad de realizar el teletrabajo es decir el trabajo de forma remota conocido como home office, para lo cual se emplean diversas plataformas y entre las cuales se cuenta con los sistemas de teleconferencias o sistemas de reuniones virtuales.

Según los informes de la Organización Mundial de la Salud existen un 15% de usuarios que sufre algún tipo de discapacidad en el mundo (World Health Organization (WHO), 2019), y dentro de ellos un alto porcentaje corresponde a los usuarios con baja visión (Acosta-Vargas, Salvador-Ullauri, & Luján-Mora, 2019).

El término accesibilidad se refiere a la interacción entre el usuario y la aplicación para facilitar el acceso a un mayor número de usuarios (Acosta-Vargas, Luján-Mora, & Salvador-Ullauri, 2017). Por lo tanto, un sistema de teleconferencia accesible no solo permitirá a los usuarios con alguna discapacidad permanente o temporal recibir y comprender el contenido de la aplicación, sino también navegar por la aplicación correctamente.

Según Baruch et al. (Baruch, Ehrlich, & Yaffe, 2001) las políticas de accesibilidad multimedia proponen que “Todos los elementos multimedia como audio o video, producidos o publicados deben ser accesibles en el momento de la publicación”, por lo cual se hace necesario tomar en consideración dichos aspectos en las aplicaciones de teleconferencia.

Braun (Braun, 2007) argumentó que 1) la descripción de audio para las personas con discapacidad visual o visión reducida se centran en modelado mental, y 2) considerar los diferentes tipos de inferencias. El autor propone investigar el tema en profundidad, especialmente sobre los diversos modos de comunicación en la comprensión y los procesos de producción.

Moreno et al. (Moreno, González-García, Martínez, & González, 2017) indican que los sistemas multimedia deben ser accesibles proporcionando alternativas, como subtítulos, audio y transcripciones. Concluyen que todos los recursos deben ser accesibles en todas sus dimensiones para llegar al mayor número de usuarios.

Hong et al. (Hong, Wang, Xu, Yan, & Chua, 2010) indican que más de 66 millones de personas sufren de discapacidad auditiva, lo que hace difícil entender el contenido de video, que involucra la pérdida de información de audio. Recomiendan subtítular los videos para ayudar a entender el contenido. Los autores sugieren mejorar la accesibilidad en los videos a través de un enfoque dinámico de subtitulación.

Szarkowska (Szarkowska, 2011) propuso dos tipos de audio descripción: 1) el estándar que se reproduce mientras el video está en ejecución, y 2) una extensión que consiste en tener una pausa del video, siempre que se reproduzca la descripción de audio.

Funes et al. (Funes, Trojahn, Fortes, & Goularte, 2018) proponen implementar iniciativas como las WCAG 2.0 para el desarrollo de reproducciones de video, y sugieren investigar sobre cómo mejorar la accesibilidad de los videos en la web para discapacidad visual y baja visión. Los autores sugieren personalizar los gestos del usuario para mejor los requisitos del usuario en tareas específicas.

Acosta-Vargas et al. (Acosta-Vargas, Esparza, et al., 2019) proponen aplicar las WCAG 2.0 para el contenido educativo, según la WAI. Los autores analizaron la accesibilidad de los recursos en los procesos de la enseñanza-aprendizaje para personas mayores de edad avanzada y sugieren aplicar nuevos métodos para ayudar a generar de manera integral y sencilla recursos accesibles que incluyen videos.

Acosta-Vargas et al. (Acosta-Vargas, Salvador-Ullauri, Perez-Medina, & Rybarczyk, 2019) proponen aplicar las WCAG 2.1 en la investigación realizada sugieren combinar un método con la herramienta automática para evaluar la fotosensibilidad en pacientes con epilepsia y la evaluación manual con la WCAG-EM 1.0. El método fue aplicado en diez recursos de video tomados de las universidades latinoamericanas que están en las primeras clasificaciones según el ranking de Webometrics.

En consecuencia, se recomienda aplicar las WCAG 2.1 y 2.2 (World Wide Web Consortium (W3C), 2020) para los recursos que impliquen video y multimedia, con el propósito de lograr un impacto significativo en la accesibilidad de los sistemas de teleconferencias evaluados.

La accesibilidad aplicada a la multimedia propone una transcripción de texto simple, por lo que es necesario incluir una transcripción en grabaciones de solo audio, para cumplir con todos los criterios de éxito sugeridos por WCAG 2.1 y WCAG 2.2. Por otro lado, los recursos multimedia según el World Wide Web Consortium (W3C) (World Wide Web Consortium (W3C), 2016) incluyen textos, imágenes, gráficos, animaciones, video y sonido para presentar o comunicar información específica. En consecuencia, para cubrir todos los parámetros que intervienen en la accesibilidad de un sistema es necesario evaluar un conjunto de componentes dependientes como factores humanos, en este caso se consideran los usuarios de los sistemas de teleconferencias, incluidos los

usuarios con discapacidad, los factores tecnológicos para proporcionar accesibilidad e interacción del usuario con el sistema de teleconferencias en el entorno de la plataforma, que incluyen criterios para favorecer la accesibilidad con los componentes indicados en la ISO / IEC 40500: 2012 (ISO/IEC, 2012) que es equivalente a las WCAG 2.0, 2.1 (World Wide Web Consortium, 2018) y 2.2.

Por consiguiente, esta investigación se centra en aplicar las WCAG que definen cómo hacer que el contenido sea más accesible para las personas con discapacidad. La accesibilidad implica una amplia gama de discapacidades, que incluyen discapacidades visuales, auditivas, físicas, del habla, cognitivas, del lenguaje, de aprendizaje y neurológicas. Si bien, estas pautas cubren una amplia gama de problemas, no pueden abordar las necesidades de las personas con todos los tipos, grados y combinaciones de discapacidad. Estas pautas también hacen que el contenido sea más utilizable por personas mayores con capacidades cambiantes debido al envejecimiento y a menudo tienen a mejorar la usabilidad para los usuarios en general. Para este estudio, se consideran las barreras para los usuarios con baja visión tomando en cuenta los cuatro principios de accesibilidad que son los mismos abordados en los contenidos de las WCAG 2.0:

Principio 1: Perceptible, la información y los componentes de la interfaz de usuario deben presentarse a los usuarios de la forma en que pueden ser percibidos. Comprende de 4 pautas y 29 criterios de cumplimiento.

Principio 2: Operable, la interfaz de usuario y los componentes de navegación deben ser operables. Cuenta con 5 pautas y 29 criterios de cumplimiento.

Principio 3: Comprensible, la información y la gestión de la interfaz de usuario deben ser comprensibles. Comprende de 3 pautas y 17 criterios de cumplimiento.

Principio 4: Robusto, el contenido debe ser lo suficientemente robusto como para la interpretación por parte de una amplia variedad de agentes de usuario, incluidas las tecnologías de asistencia. Cuenta con una directriz y 3 criterios de cumplimiento.

3. Método y caso de estudio

Actualmente, no se ha evidenciado la existencia de herramientas de revisión automática que ayuden en la evaluación de la accesibilidad en sistemas de teleconferencia por lo cual se propone un método de evaluación manual aplicado a los usuarios con baja visión considerando las WCAG 2.1 y 2.2, el método consta de ocho fases resumidas en la Figura 1.

Fase 1: Seleccionar los sistemas de teleconferencia; en esta fase, se seleccionaron los sistemas de teleconferencia más utilizadas en el 2020 (HubSpot, 2020), (Business Insider, 2020) que se detallan en la Tabla 1.

Fase 2: Explorar los sistemas seleccionados, en esta fase se instalaron las aplicaciones seleccionadas en la fase 1 como se muestran en la Tabla 1. Además se realizó la interacción con los sistemas de teleconferencia seleccionados para identificar las posibles barreras para los usuarios que usan la aplicación.

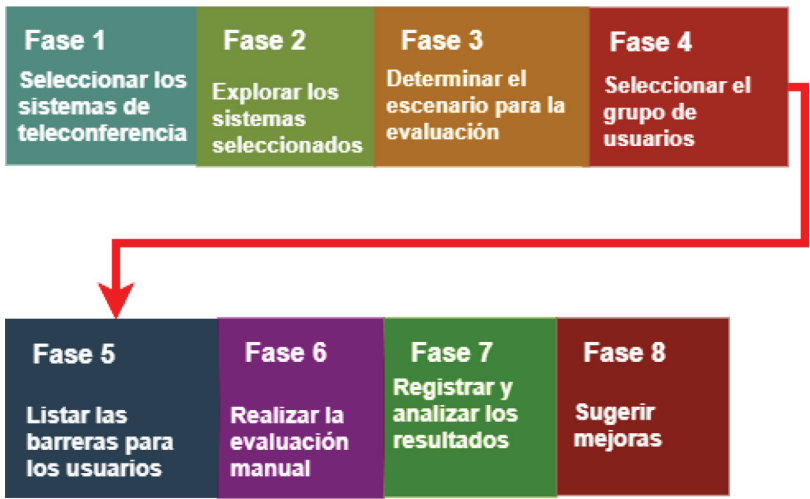


Figura 1 – Método para evaluar la accesibilidad en sistemas de teleconferencia.

Id	Herramienta	Ícono	Licencia	APP	URL
A	Teams		Pago	SI	https://products.office.com/
B	Zoom Meeting		Pago	SI	https://zoom.us/
C	Webex		Pago	SI	https://www.webex.com/es/index.html
D	Google Hangouts		Libre	SI	https://hangouts.google.com/
E	Skype		Pago	SI	https://www.skype.com/es/
F	Jitsi		Libre	SI	https://jitsi.org/jitsi-meet/
G	ooVoo		Libre	SI	https://www.oovoo.com/
H	GoToMeeting		Pago	SI	https://www.gotomeeting.com/es-es
I	Meet de Hangouts		Pago	SI	https://gsuite.google.com.mx/
J	MeetingBurner		Pago	SI	https://meeting-burner-ios.soft112.com/

Tabla 1 – Resumen de los sistemas de reuniones virtuales evaluados

Fase 3: Determinar el escenario para la evaluación, en esta fase se definieron las actividades que los usuarios debían realizar durante el proceso de ejecución con la aplicación. En este caso, las tareas fueron: ingresar al sistema de teleconferencia, navegar por el menú y ejecutar una sesión de videoconferencia durante 15 minutos.

Fase 4: Seleccionar el grupo de usuarios, los autores seleccionaron usuarios con baja visión (Acosta-Vargas, Salvador-Ullauri, & Luján-Mora, 2019), es decir aquellos usuarios que experimentan interferencias con las actividades diarias como leer y conducir. La baja visión es más común entre los ancianos, pero puede presentarse em personas de cualquier edad como resultado de enfermedades como la degeneración macular, el glaucoma, la retinopatía diabética o las cataratas. Fueron seleccionados cinco usuarios que son suficientes para una evaluación (Nielsen & Rolf, 1990) con edades promedio de 42 años.

Fase 5: Listar las barreras para los usuarios con baja visión, en esta fase se definen las barreras para el grupo de usuarios seleccionados en la fase 4. En la Tabla 2 se detallan los 26 lineamientos, las barreras de accesibilidad, los principios de la WCAG, los criterios de éxito y el nivel de conformidad aplicados en la evaluación de la accesibilidad de los sistemas de teleconferencia.

Lineamiento	Barrera	WCAG 2.1 y 2.2 (Principio)	Criterios de éxito	Nivel
G01	Contenido al pasar el mouse sobre el foco	Perceptible	1.4.13	AA
G02	Fuente fácil de leer	Perceptible	1.1.1	A
G03	Alternativas de texto	Perceptible	1.1.1	A
G04	Subtitulado	Perceptible	1.2.4	AA
G05	Transcripciones automáticas	Perceptible	1.2.5	AA
G06	Lenguaje de señas	Perceptible	1.2.6	AAA
G07	Información y relaciones	Perceptible	1.3.1	A
G08	Características sensoriales	Perceptible	1.3.1	A
G09	Ajustar configuración de pantalla	Perceptible	1.3.4	AA
G10	Reordenamiento de interfaz	Perceptible	1.3.5	AA
G11	Uso del color	Perceptible	1.4.1	A
G12	Contraste sin texto	Perceptible	1.4.11	AA
G13	Elementos bien espaciados	Perceptible	1.4.12	A
G14	Buenas técnicas de audio	Perceptible	1.4.2	A
G15	Contraste mejorado	Perceptible	1.4.3, 1.4.6	AA
G16	Imágenes lo más nítidas posible	Perceptible	1.4.5	AA
G17	Presentación visual	Perceptible	1.4.8	AAA
G18	Teclado accesible	Operable	2.1.1	A
G19	Pausar, detener, ocultar	Perceptible	2.2.2	A
G20	Tres parpadeos o umbral inferior	Operable	2.3.1	A

Lineamiento	Barrera	WCAG 2.1 y 2.2 (Principio)	Criterios de éxito	Nivel
G21	Idioma	Comprensible	3.1.1	A
G22	Navegación consistente	Comprensible	3.2.3	AA
G23	Etiquetas o instrucciones	Comprensible	3.3.2	A
G24	Ayuda	Comprensible	3.3.5	AAA
G25	Soporte de lector de pantalla	Robusto	4.1.2	A
G26	Mensajes de estado	Robusto	4.1.3	AA

Tabla 2 – Lineamientos para evaluar la accesibilidad en los sistemas de teleconferencias

Las barreras fueron seleccionadas considerando los principios de accesibilidad propuestos en las WCAG 2.1 y 2.2 enfocados a los usuarios con baja visión.

Fase 6: Realizar la evaluación manual, en esta fase, participaron dos expertos en accesibilidad, cuentan con experiencia en esta área desde el 2015, además tienen varias publicaciones indexadas en el área de accesibilidad. Los expertos en accesibilidad revisaron manualmente si cada herramienta de teleconferencia cumple con los lineamientos de accesibilidad para usuarios con baja visión. Si la aplicación de teleconferencia cumple con el lineamiento se registró un uno (1) caso contrario se registró un cero (0). En esta fase los expertos relacionaron cada lineamiento con los principios, criterios y niveles de conformidad de las WCAG 2.1 y 2.2. Los desacuerdos de los expertos se solucionaron al invitar a un tercer experto para llegar a un consenso.

Fase 7: Registrar y analizar los resultados, en esta fase, los evaluadores registraron los datos de la evaluación de los diez sistemas para teleconferencia. Para el registro se utilizó Microsoft Excel versión 2016. En la Tabla 3 se muestran los resultados de la evaluación de cada uno de los sistemas de teleconferencia.

Linea- miento	Teams	Zoom Meeting	Webex	Google Hangouts	Skype	Jitsi	ooVoo	GoTo- Meeting	Meet de Hangouts	Meeting- Burner
G01	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
G02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G03	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
G04	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
G05	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
G06	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
G07	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
G08	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
G09	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
G10	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
G11	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
G12	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1

Linea- miento	Teams	Zoom Meeting	Webex	Google Hangouts	Skype	Jitsi	ooVoo	GoTo- Meeting	Meet de Hangouts	Meeting- Burner
G13	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
G14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G17	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
G18	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
G19	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
G20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G22	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
G23	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
G24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
G25	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0
G26	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0

Tabla 3 – Resultados de la evaluación de la accesibilidad

El conjunto de datos para la revisión y réplica del estudio está disponible en el repositorio de Mendeley¹. El análisis de los resultados muestra que los principios que no se cumplen son el “Operable” y “Robusto”, seguido del “Comprensible” y “Perceptible”. Los resultados se analizan con mayor profundidad en la sección de resultados y discusión.

Fase 8: Sugerir mejoras, en esta fase, los autores proponen las siguientes sugerencias para mejorar la accesibilidad en los sistemas de teleconferencia inspeccionados:

1. Transcripciones automáticas, el sistema debería incluir un programa automático o bot para realizar la transcripción de audio o video a texto sin la intervención humana.
2. Lengua de señas, es una lengua natural de expresión y configuración gesto-espacial y percepción visual, mediante la cual los usuarios con discapacidad auditiva pueden establecer un canal de comunicación con su entorno social. Para que el sistema sea más accesible debería incluir un mecanismo automatizado o bot que incluya el lenguaje de señas en vivo o en la edición de la conferencia.
3. Tres parpadeos o umbral inferior, en este caso se sugiere incluir una opción de tal forma que el usuario que tiene problemas de epilepsia o problemas de fotosensibilidad pueda controlar desde la configuración de la aplicación y evitar el exceso de luz y brillo que altere la salud de ese tipo de usuarios, para lo cual se propone que los sistemas de videoconferencias incluyan una aplicación similar a Photosensitive Epilepsy Analysis Tool (PEAT)²

¹ <https://data.mendeley.com/datasets/publish-confirmation/nmnr6nbjr6/1>

² <https://trace.umd.edu/peat>

4. Resultados y Discusión

La Figura 2 muestra el resultado de la evaluación de la accesibilidad en los sistemas de teleconferencias, indica que de las diez herramientas evaluadas el 60.5% del total cumple con el principio de “Perceptible”, el 25.8% con el “Comprensible”, el 8.1% con el “Robusto” y el 5.6% con el “Operable”. Con los datos obtenidos observamos que: 1) el principio de “Perceptible” es esencial para lograr un mayor nivel de accesibilidad para los usuarios con baja visión; 2) existe un descuido y falta de actualización sobre las WCAG 2.1 y 2.2.

Cuando las aplicaciones de teleconferencia estén bien diseñadas y codificadas, las personas con discapacidad pueden utilizarlas fácilmente. Sin embargo, en la actualidad muchas herramientas están desarrolladas incluyendo barreras de accesibilidad que imposibilitan el uso por parte de algunas personas. Motivo por el cual es esencial diseñar aplicaciones más inclusivas y accesibles que beneficien tanto a las personas, como a las compañías y a la sociedad en general. Los estándares de la WCAG 2.1 y 2.2 ayudan a definir lo que la accesibilidad requiere.

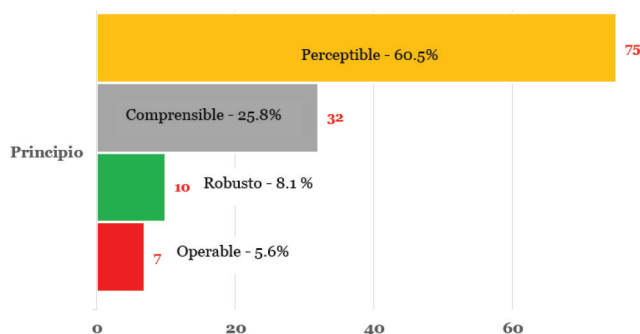


Figura 2 – Cumplimiento de los principios de accesibilidad.

La Figura 3 muestra el número de criterios de éxito que cumplen las diez herramientas de teleconferencias evaluadas, los criterios que cumplieron son 1) el 1.1.1 relacionado con la fuente fácil de leer, 2) el 3.1.1 referente al idioma y 3) el 3.3.5 concerniente con la ayuda que brinda la herramienta. Nueve de las diez herramientas cumplen con el criterio 1.4.11 de contraste sin texto. Ocho cumplen con 1) el criterio 1.4.1 de pausar, detener, ocultar; 2) el 1.3.4 indica la configuración de pantalla y 3) el 1.4.1 relacionado con el uso del color. Siete cumplen con 1) el 2.1.1 relacionado con el teclado accesible y 2) el 3.2.3 concerniente con la navegación consistente. Seis sistemas de teleconferencia cumplen con el criterio 1.4.12 relacionado con los elementos bien espaciados. Cinco de las herramientas cumplen con 1) el 1.4.8 referente a la presentación visual, 2) el 3.3.2 enfocado a las etiquetas o instrucciones, 3) el 4.1.2 relacionado con el soporte de lector de pantalla y 4) el 4.1.3 referente a los mensajes de estado que se presentan en la herramienta. El resto de los criterios de accesibilidad presentan valores entre cero y cuatro lo que implica que las herramientas de teleconferencia carecen de esos criterios que son esenciales para cumplir con un nivel de accesibilidad aceptable. Los criterios que no cumplen ninguno de los sistemas están relacionados con 1) el 1.4.3, 1.4.6 referente

al contraste mejorado, 2) el 1.4.5 relacionado con la nitidez de las imágenes y 3) el 2.3.1 afín con los parpadeos o umbral inferior.

Los sistemas de teleconferencia deben pensar en un diseño de acceso universal, para que todo el mundo pueda usarlos, independientemente del software, hardware, ubicación, idioma o capacidad. Por lo tanto, el impacto de la discapacidad cambiaría radicalmente en los sistemas de teleconferencia cuando se eliminen las barreras de interacción que muchas personas encuentran en el mundo físico. Sin embargo, cuando las aplicaciones, tecnologías o herramientas están mal diseñadas, pueden crear barreras que excluyen a muchas personas del uso de estos recursos sincrónicos.

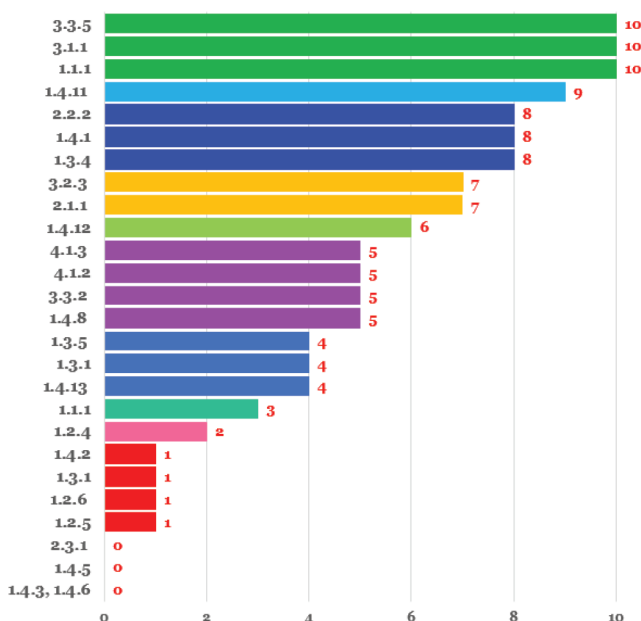


Figura 3 – Cumplimiento de los criterios de accesibilidad.

La Figura 4 muestra el resultado de los niveles de cumplimiento de las diez herramientas de las cuales el 50% del total cumple con el nivel “A” de conformidad seguido por el 38.5% con el nivel “AA” y el 11.5% con el nivel “AAA”. Por lo tanto, las herramientas no se encuentran dentro del nivel “AA” de aceptabilidad sugeridos en la mayoría de las legislaciones. Motivo por el cual se sugiere que los desarrolladores de estas herramientas se preocupen en implementar los requisitos de accesibilidad al aplicar las pautas de las normas WCAG 2.1 y 2.2, con el fin de lograr productos más inclusivos y accesibles, considerando la diversidad de usuarios, pues sin diversidad no se puede enfocar en la innovación.

Si se logra eliminar un mayor número de barreras es posible facilitar el acceso de los usuarios a los sistemas de teleconferencia, que cumplan con un nivel mínimo aceptable de accesibilidad, para que al interactuar con las aplicaciones tenga una experiencia satisfactoria.

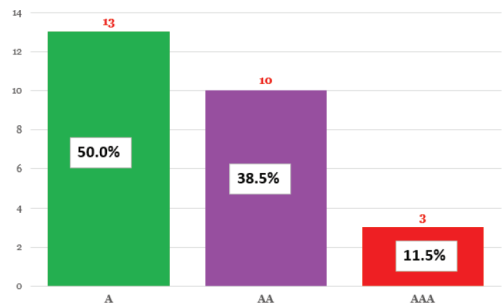


Figura 4 – Cumplimiento de los niveles de accesibilidad.

La Figura 5 presenta el resultado de los diez sistemas de teleconferencia evaluados, los tres sistemas que cumplen con el mayor número de lineamientos evaluados son Zoom Meeting, seguida por Teams y Meet de Hangouts.

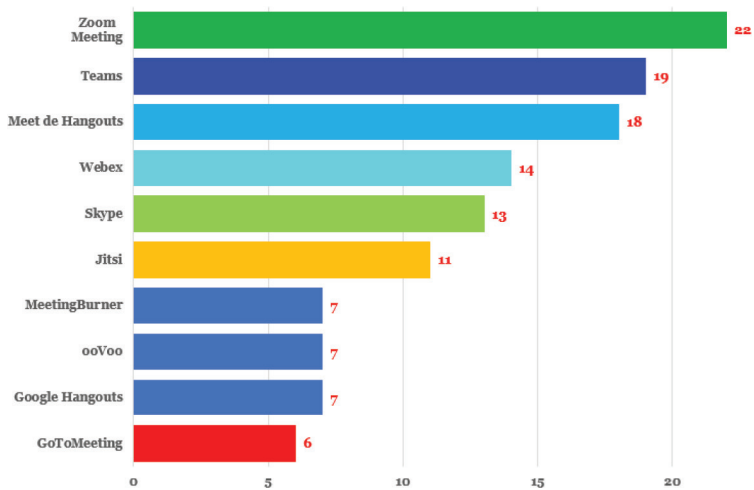


Figura 5 – Sistemas de teleconferencia y lineamientos de accesibilidad.

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

Actualmente, el uso de los sistemas de teleconferencia en diversas áreas permite reducir la propagación del virus que causa la COVID-19, los costes económicos y el tiempo de desplazamiento, razón por la cual es esencial aplicar los lineamientos de la WCAG 2.1. Con el propósito de que el mayor número de personas independientemente de su discapacidad física, motora o intelectual puedan acceder fácilmente a estas aplicaciones.

En este estudio el método aplicado tiene sus limitaciones; requiere de mucho tiempo para evaluar una aplicación, por lo tanto, es demasiado costoso resolver los problemas de accesibilidad. En este sentido, la presente investigación puede servir como referencia

para futuros estudios relacionados con los métodos combinados y heurísticos de accesibilidad para aplicaciones de teleconferencia, con el propósito de lograr aplicaciones más inclusivas. El método puede replicarse para otros tipos de discapacidades, teniendo en cuenta las diversas barreras de accesibilidad.

Asimismo, se sugiere mejorar el contraste para los usuarios con baja visión, por lo que es importante incluir una sección para la configuración de contraste mejorado entre el fondo y el texto de modo que las personas con visión reducida puedan leer con facilidad. Las deficiencias de color pueden afectar el contraste de luminosidad. Por ejemplo al contar con el color negro más intenso y blanco más puro se puede obtener un contraste y claridad de imagen increíble. También, aplicar la nitidez en las imágenes, lo cual depende de muchos factores entre ellos el tipo de cámara, por lo cual se sugiere incluir mediante software un simulador de distancia hiperfocal que permite enfocar a la distancia correcta y así mantener la nitidez en todos los planos posibles para enfocar a las personas que interactúan en la videoconferencia, a futuro sería interesante contar con cámaras en 3D y cámaras térmicas de infrarrojos que incluso serían de gran utilidad para los diagnósticos médicos a través de la telemedicina.

Finalmente, como trabajo futuro derivado de la presente investigación, sugerimos 1) realizar el presente estudio sobre un conjunto de herramientas de teletrabajo, con el fin de evaluar el grado de cumplimiento de los niveles mínimos de accesibilidad; 2) diseñar una herramienta automática que ayude al evaluador en el proceso de revisión de la accesibilidad en sistemas de teleconferencia aplicando las WCAG 2.1.

Agradecimientos. Los investigadores agradecen a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y a la Universidad de Las Américas - Ecuador, por financiar este estudio a través de los proyectos FGE.PAV.19.11 y SIS.MGR.20.01.

Referencias

- Acosta-Vargas, P., Esparza, W., Rybarczyk, Y., González, M., Villarreal, S., Jadán, J., ... Nunes, I. L. (2019). Educational Resources Accessible on the Tele-rehabilitation Platform. *Springer International Publishing AG*, 781, 210–220. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94334-3>
- Acosta-Vargas, P., Luján-Mora, S., & Salvador-Ullauri, L. (2017). Web Accessibility Policies of Higher Education Institutions. In *ITHET2017, Ohrid, 10th, 11th and 12th of July, 16th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, Ohrid, Macedonia* (pp. 1–7).
- Acosta-Vargas, P., Salvador-Ullauri, L., & Luján-Mora, S. (2019). A Heuristic Method to Evaluate Web Accessibility for Users With Low Vision. *IEEE Access*, 7, 125634–125648. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939068>
- Acosta-Vargas, P., Salvador-Ullauri, L., Perez-Medina, J. L., & Rybarczyk, Y. (2019). Accessibility evaluation of multimedia resources in selected Latin america universities. In *2019 6th International Conference on eDemocracy and eGovernment, ICEDEG 2019* (pp. 249–255). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2019.8734439>

- Baruch, H., Ehrlich, J., & Yaffe, a. (2001). Splinting--a review of the literature. *Refu'at Ha-Peh Veha-Shinayim* (1993), 18(1), 29–40, 76.
- Braun, S. (2007). Audio Description from a discourse perspective : a socially relevant framework for research and training. *Linguistica Antverpiensia, New Series–Themes in Translation Studies*, 6.
- Business Insider. (2020). 9 aplicaciones con las que puedes organizar videoconferencias y reuniones de trabajo online. Retrieved from <https://www.businessinsider.es/9-aplicaciones-organizar-videoconferencias-reuniones-online-597077>
- Funes, M., Trojahn, T., Fortes, R., & Goularte, R. (2018). Gesture4All : a framework for 3D gestural interaction to improve accessibility of Web videos. In ACM (Ed.), *In Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 2151–2158). ACM.
- Hong, R., Wang, M., Xu, M., Yan, S., & Chua, T.-S. (2010). Dynamic captioning: Video Accessibility Enhancement for Hearing Impairment. In *Proceedings of the international conference on Multimedia - MM '10* (p. 421). <https://doi.org/10.1145/1873951.1874013>
- HubSpot. (2020). Los mejores 6 programas para videoconferencias en 2020. Retrieved from <https://blog.hubspot.es/sales/programas-videoconferencias>
- ISO/IEC. (2012). *40500:2012 Information technology -- W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/58625.html>
- Moreno, L., González-García, M., Martínez, P., & González, Y. (2017). Checklist for Accessible Media Player Evaluation. In *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '17* (Vol. 15, pp. 367–368). <https://doi.org/10.1145/3132525.3134791>
- Nielsen, J., & Rolf, M. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 249–256). ACM.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2020). La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia. Retrieved from <https://www.paho.org/hq/>
- Szarkowska, A. (2011). Text-to-speech audio description: towards wider availability of AD. *Journal of Specialised Translation*, (15), 142–162.
- World Health Organization (WHO). (2019). World report on disability. Retrieved April 18, 2019, from https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report/en/
- World Wide Web Consortium. (2018). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. Retrieved September 15, 2019, from <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2016). Multimedia Accessibility FAQ. Retrieved from <https://www.w3.org/2008/06/video-notes>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2020). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. Retrieved from <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>

ATC: Business Analytics for Monitoring Financial Indicators of Credit Products in Peruvian Banking

José Aguirre, Antonella Puma Flores, David Mauricio Sánchez

U201513019@upc.edu.pe; U201512433@upc.edu.pe; pcsidmau@upc.edu.pe

Engineering Faculty, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima 15023, Lima, Perú.

Pages: 219–230

Abstract: Monitoring credit product indicators in Peruvian banking is, generally, carried out semi-automatically, therefore its process can generate delays and induce errors in the financial analysis and, as a result, lead to untimely decision-making. In this work, a business analytics model is proposed to automate this process in Peruvian banks, which considers 4 components: Dashboard Management, Data Management, Visualizer and Information Display. The model is applicable to any bank for its simplicity and for the various existing technologies that facilitate its implementation. In addition, ATC (Analysis & Tracking of Credits) a web application that uses BI&A tools supported in the Cloud, is developed, showing 12 financial variables and 4 indicators of profitability and financial strength. Test with real data from a bank and expert judgement show a reduction in time from 29.7 hours to 4.3 seconds, and a positive impact on aspects such as usability and user experience.

Keywords: Analytics, Banking, Bank Credit, Business Intelligence.

1. Introduction

In Peru, at the end of 2019, the placements of credit products in the financial system were valued at 87,000 million of dollars and grew by 6.2% compared to the previous year (Fernández, Loo, Nureña & Roca, 2019), which highlights the importance of these in the economy of each banking institution. Therefore, it is important to effectively monitor credit product indicators and there is a need for information for strategic decision-making in the medium and long term (SPP Perú, 2017). In addition, it can be found that, in banking entities, data loading and extraction processes are carried out semi-manually and informally and the information is available in different formats, including text files, which is why the analysis of credit indicators is incomplete and sometimes not appropriate.

Faced with such difficulties, business intelligence and analytics (BI&A) is an alternative that provides summary information and indicators to facilitate analysis and is highly supportive in decision-making. However, traditional BI&A solutions demand high deployment and maintenance costs and, given large volumes of data, can take considerable amount of time to process it. Given these restrictions, Cloud Computing

technology and its on-demand services-oriented business model provides access to the resources needed for a low-cost BI&A solution (López Inga & Guerrero Huaranga, 2018).

There are studies of BI&A with Cloud Computing for banks in European (Šćekić, Gazivoda, Šćepanović & Nikolić, 2018) and Asian countries (Massardi, Suharjito & Utama, 2018) for the monitoring of credit products through financial indicators; however, in Peru, there is no precedent for such implementations in banks. This paper proposes a BI&A application on Cloud Computing oriented to the banking sector that allows it to process credit product placement data in real time and generate indicators that help the analysis and decision-making regarding the monitoring of credit products.

The article is distributed in 5 sections. In section 2, works related to credit and monitoring in banking and BI&A in the banking sector are reviewed. In section 3, the proposed BI&A model and implementation is described. The respective validation by expert judgement is presented in section 4. Finally, the conclusions follow in section 5.

2. Related Works

2.1. Credits and Monitoring in the Banking Sector

The Central Reserve Bank of Peru (BCRP) defines credit as “the economic transaction in which there is a promise of payment with some good, service or money in the future, in which the delivery of resources from one institutional unit (the creditor) to another unit (the debtor) is involved” (BCRP, 2011). Credits are classified into commercial credits, which are granted to natural and legal persons for the purpose of financing any trade activity; mortgage loans, intended for natural persons who want to acquire, build or remodel a property; consumer credit, granted to natural persons for any purpose (*Resolución S.B.S. N° 1343-2003*, 2003). In 2019, the placement of credit in Peruvian banking was distributed as 52.69% for commercial credit, 21.13% for mortgages and 26.18% for consumption, totaling \$6,840,838,695 (SBS, 2019).

On the other hand, it is stated that “any credit assessment process to a company or business is based on the analysis of the main financial indicators of the company (management ratios, indebtedness, liquidity and profitability)” (Huertas, 2015). There are different entities that track monthly and/or annual credit placements using public information provided by banks, one of the reports is the Financial Stability Report, which shows the evolution of placements over the past 12 months using the disbursed amount and the interest rate as variables, and also shows the delinquency ratio and the credit/gross domestic product ratio, known as the credit monetization ratio (BCRP, 2019).

2.2. BI&A in the Banking Sector

Due to the synthesized information and indicators that can be obtained by BI&A, applied studies have been developed in banking. For example, in Indian banks, its application is explored using focused interviews and analysis of case studies, such is the case of HDFC Bank, which has pioneered the implementation of BI, thus managing to track the financial habits of customers and then use this information to promote their service offering (Mishra, 2016).

Given the categorization of a “bad bank” in Indonesia’s financial system, when the 5% threshold of non-performing loans is exceeded, it is proposed to implement BI using the Kimball lifecycle to process all loan data stored in Excel sheets and finally present it on a loan collection dashboard (Susena et al., 2018). On the other hand, the main areas in a bank to apply BI are the risk area, the asset and liability management area and the compliance area (Ubiparipović & Đurković, 2011). Also, different BI&A technologies were investigated and a sales analysis process was simulated as a test in order to monitor indicators and increase the profitability of products (Bijakšić et al., 2017).

3. ATC Web Solution

3.1. ATC model

ATC (Analysis & Tracking of Credits), a BI&A model is proposed to automate the process of monitoring financial indicators of credit products in Peruvian banking, which is based on the following 4 components: Dashboard Management, Data Management, Visualizer and Information display (see figure 1).

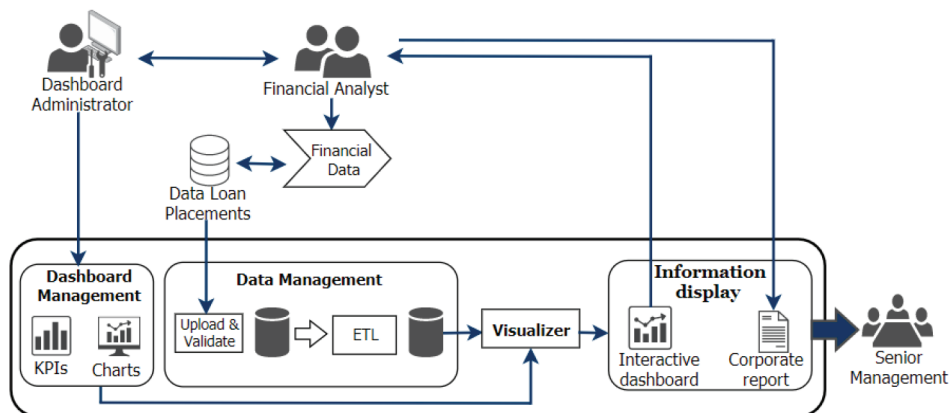


Figure 1 – ATC Model

The administrator has access to Dashboard Management, where he can add and remove Key Performance Indicators (KPIs), as well as modify the design of the charts for credit monitoring, which is done in coordination with the financial analysts (ANF). They interact with the “Financial Data” process to obtain the data of the credit placements in the established format and, through Data Management, such data is loaded and validated using business rules. If the data has inconsistencies, adjustments must be made, otherwise an Extraction, Transformation and Load (ETL) process will be performed in order to have a repository ready to be executed by the visualizer, a component that generates the dashboard according to the KPIs and graphs defined in Dashboard Management. This dashboard is submitted by the Information display module to the ANF to make a corporate report regarding the tracking of credit products. Finally, the senior management visualizes the interactive dashboard with the generated report.

The roles involved in the model are shown in table 1.

Role	Description
<i>Dashboard Administrator</i>	Responsible for managing KPIs and dashboard charts
<i>Financial Analyst (ANF)</i>	In charge of uploading the data to the application and making the corporate report
<i>Senior Management</i>	Made up of finance managers who visualize the information shown in the dashboard and the corporate report to formulate business strategies

Table 1 – Description of the model’s roles

3.2. Model components

Dashboard Management

This module allows the administrator to configure the dashboard, that is, to be able to add new financial indicators to be measured, as well as publish new charts that show the evolution of such indicators over a period of time. It is suggested to consider the different KPIs for the follow-up of the credits, such as amount disbursed, interest rate (TASOPE), spread (SPRNOR), funding rate (TASFON), regulatory capital (CR), cash available for distribution (CAD), opportunity cost of capital (COK), expected loss (PE), probability of default (PD), loss given default (LGD), return on regulatory capital (RORC), earnings before taxes (BAI), financial margin and income, return on economic capital (RAROEC), profit after tax (BDI) and the Profit and Loss Statement (P&L) report. These indicators should be defined according to the bank’s needs and in coordination with financial analysts, taking into account the processes involved in credit monitoring, which are the following: budget planning, price management, credit product placement management, profitability management and income assurance.

Data Management

After obtaining the data of credit product placements from the “Financial Data” process, responsible for managing the information of the bank’s servers, this module allows the loading of the data into the system and its validation, the latter is based on established business rules. The validation rules are conditions of consistency that the financial data must meet, some rules are given in table 2. After the data is validated, an ETL process is performed to deposit the data into a repository of dimension and measure tables.

Id	Validation Rule
<i>R1</i>	$TASOPE = TASFON + SPRNOR$
<i>R2</i>	$CR = CAD * COK$
<i>R3</i>	$PE = PD * LGD$
<i>R4</i>	COK established by each bank
<i>R5</i>	$TASOPE > 0$ and $TASOPE \leq 1$
<i>R6</i>	$TASFON > 0$ and $TASFON \leq 1$
<i>R7</i>	$PLAOPE > 0$

Table 2 – Financial Data Validation Rules

Visualizer

This module receives the information generated by Data Management, the KPIs and charts defined in Dashboard Management, calculates such KPIs and updates the graphics for disposal by the Visualizer.

Information display

This module allows to visualize the charts with the information of the financial indicators of the credit products for their analysis by the ANF, who elaborates a corporate report. This module is also accessed by the Senior Management, who will be able to view the dashboard, as well as the corporate report, in order to make strategic decisions about the sales of credit products.

3.3. Implementation

In order to show the application of the proposed model, the processes of credit product placement management and credit indicators monitoring are considered, which provide data on credit and information placements for the Senior Management. ATC's physical-logical architecture was designed using the ArchiMate modeling language and features an application layer, a network layer and the following components: web application, Datamart, ETL process, and Power BI; it also presents the processes of data collection, preparing data for visualization and finally information display (see figure 2).

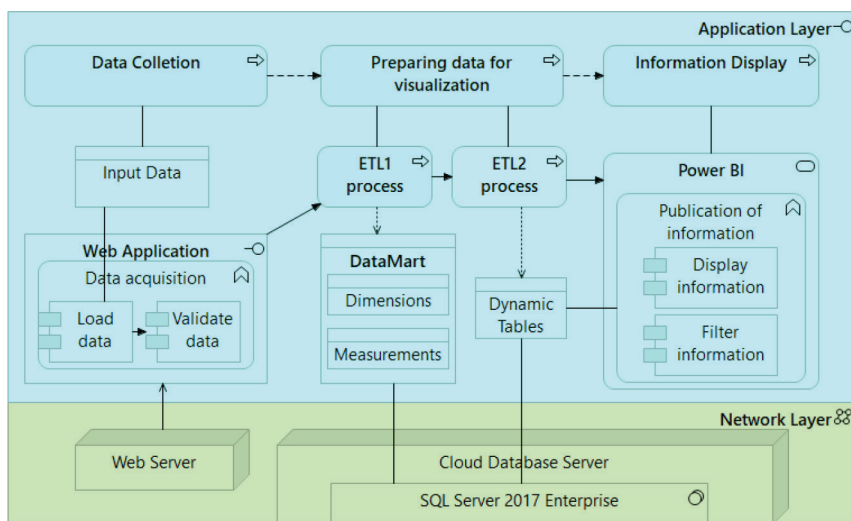


Figure 2 – ATC's physical - logical architecture

Application Layer

1. Data collection

We proceeded with the construction of the web application that will receive and validate the input data. For this, the programming language TypeScript

was used, which is open source, object oriented and developed by Microsoft (Cherny, 2019). In addition, a logic was implemented that allows to locate the positions of the variables in the file, instantiate them and validate them. Once correctly validated, the data is uploaded to the DataMart through a connection to the database.

2. Preparing data for visualization

For the implementation of the application processes pertaining to the preparation of data for the process of tracking credit products (construction of the DataMart, ETL and pivot tables), the methodology of the Kimball lifecycle (Kimball et al., 2008), was followed.

- Definition of Variables

According to Choy et al. (2015) and in interviews with the ANFs, the following 12 variables were defined to help determine the cost of credit: interest rate, funding rate, spread, amount disbursed, expected loss (PE), term, commission, percentage discount, initial fee, balance, capital regulatory and economic capital. In addition, 4 financial ratios of profitability and financial strength were identified: return on regulatory capital (RORC), financial income, financial margin and earnings before taxes (BAI).

- Establishing the Level of Granularity, Dimensions and Measures

To determine the level of detail of the data to be stored in the Datamart, the level of granularity was established. In figure 3, on the right side are the quantitative measures, which represent indicators or variables, the dimensions and their attributes are observed on the left side. Then, the dimensional model was implemented in a star scheme, using Microsoft SQL Server.

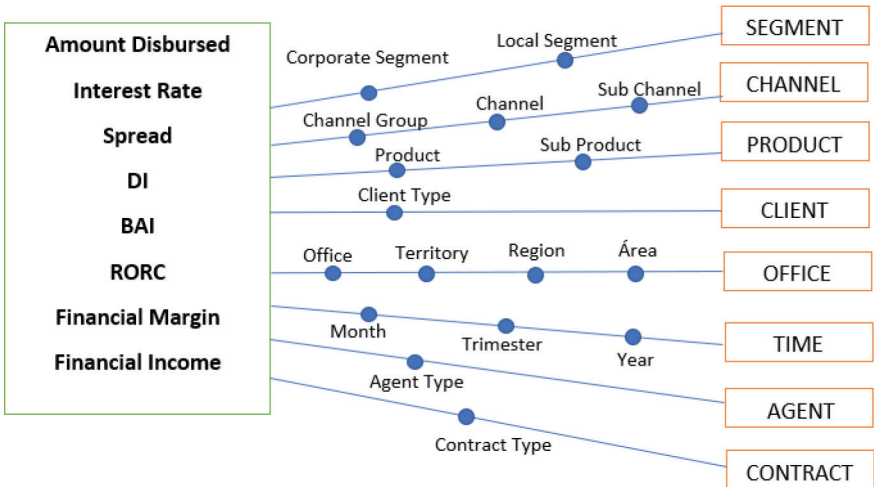


Figure 3 – Level of granularity of the variables involved

- Implementation of the ETL

SQL Server Integration Services (SSIS) was used for the construction of the ETLs. As for ETL1, the first step is to complete the content of the dimension tables. For this purpose, data about the dimensions (Segment, Channel, Product, Client, Office, Agent and Contract) are extracted from text files shared by the bank daily and inserted into each table. Then, the Credit Placement Fact Table is processed and completed with the data obtained from the file loaded and validated in the system. Finally, the calculations of the BAI, RORC, Financial Margin and Financial Income indicators are made, which are also stored in the Fact Table. As for ETL2, it creates a pivot table for each customer type from the unified Datamart.

3. Information Display

Using the Microsoft Power BI tool, the charts for the monitoring of credit product indicators were designed. Various filters were added, such as period, area, product, currency, segment and territory. Billing amounts for new contracts, existing contracts and cancellations are shown, as well as the spread percentage, interest rate and DI over time (see figure 4).

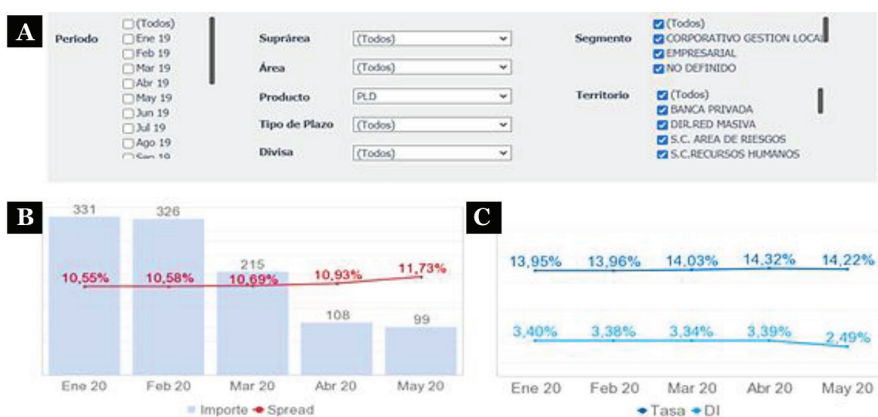


Figure 4 – A) Filters; B) amount disbursed and spread; C) Interest rate and DI Evolution

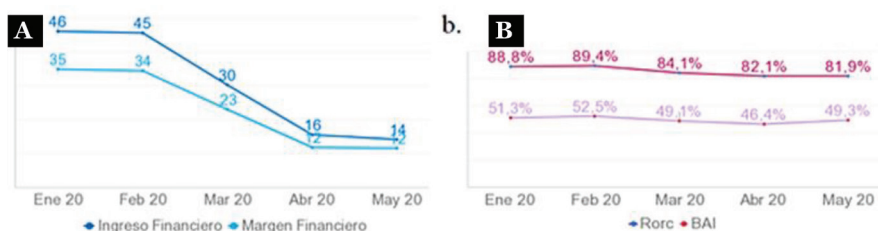


Figure 5 – A) Margin and Financial Income; B) Profitability Indicators (RORC and BAI)

In addition, profitability and financial strength indicators were included (see figure 5). Financial strength indicators show margin and financial income over time, and profitability indicators show the evolution over time of the Return on Regulatory Capital (RORC) and earnings before taxes (BAI) indicator.

Network Layer

The application was deployed using Git which features a fully automated deployment system and is able to ensure that the uploaded project is on the remote server (Chacon & Straub, 2014). Microsoft Azure cloud services were used for Datamart and dashboard storage, due to the benefits it offers such as scalability, pay-as-you-go, and ease of integration with Power BI and Microsoft SQL Server (Crump & Luijbregts, 2019).

4. Validation

The model is validated through its implementation with real data on monitoring a bank’s credit products and expert judgment.

4.1. Case Study

The web application was validated in a bank with presence in more than 30 countries and is considered one of the largest banks in Peru. Currently, it has more than 4 million customers to whom it offers various types of loans such as mortgage loans, leasing and commercial loans, with a return of more than 20 billion dollars in 2019. As for the monitoring of credit product indicators, the bank does it semi-manually. Analysts collect data on credit placements from the Financial Data area and then establish the financial indicators and variables they will show. Finally, using excel sheets, they calculate the indicators and prepare statistical graphs with the results to present them in Microsoft Power Point along with a descriptive report of them, which are sent to the bank’s senior management.

4.2. Experiment

The ATC model and application were presented to the executives of the Finance and Commercial Management area, who defined the indicators, variables, business rules and reports according to their needs. After the respective adjustments, training on the use of the application was given to 3 finance experts who work in the monitoring of credit products and 1 expert in BI technology, to whom access was provided (see table 3).

Id	Years of experience	Specialty	Position	Number of Transactions
<i>E1</i>	10	Revenue Assurance	Deputy Finance Manager	551,635
<i>E2</i>	8	Revenue Assurance	Financial Specialist	327,880
<i>E3</i>	3	Revenue Assurance	Financial Analyst	115,200
<i>E4</i>	2	Business Intelligence	Financial Data Specialist	236,147

Table 3 – Expert judgment team and Number of transactions

Then, each expert was assigned a one-month credit product monitoring task through the traditional bank process and via ATC. The transactions for the months of December 2019, March, April and May 2020 were assigned to experts E1, E2, E3 and E4, respectively (see table 3). For the follow-up, each expert loads the transaction file in ATC, which automatically performs the validation and then, through the dashboard, the corporate credit monitoring reports are obtained.

4.3. Metrics

We measured the time to obtain the financial reports with and without the application. Besides, a survey was conducted to measure the experts' perception of the usability, user experience, truthfulness and accuracy of the information provided by ATC (see table 4). The answers to the questions were rated according to the Likert scale (1: strongly disagree; 2: disagree; 3: neither agree nor disagree; 4: agree; 5: strongly agree).

Dimension	Id	Question
<i>Usability</i>	Q1	Is it easy to access?
	Q2	Is the design attractive enough to want to stay in it?
	Q3	Is navigation an easy experience?
	Q4	Is the way the information is organized adequate?
<i>User Experience</i>	Q5	Is the experience of using ATC satisfactory?
	Q6	Would you recommend using ATC?
<i>Truthfulness of Information</i>	Q7	Is the information published on the Dashboard of high quality and reliable?
	Q8	Are all area classifications in ATC?
<i>Information Accuracy</i>	Q9	Is the data presented consistent?
	Q10	Are the indicators presented in the correct format?

Table 4 – Questionnaire

4.4. Results

Table 5 shows the times for the completion of the tasks assigned to each expert, following the usual form given at the bank and through ATC. A very significant reduction is observed in the time needed to perform the monitoring of credit products, reducing the average time to perform the four tasks assigned from 29.7 hours to 4.27 seconds.

Expert	Processing Time of activities	
	No ATC	With ATC
<i>E1</i>	27 h	5.17 s
<i>E2</i>	20 h	4.62 s
<i>E3</i>	34 h	3.78 s
<i>E4</i>	38 h	4.53 s
Average	29.7 h	4.3 s

Table 5 – Processing time for tracking credit products

Dimension	Q	E1	E2	E3	E4	Average
<i>Usability</i>	Q1	5	5	4	4	5
	Q2	5	5	4	5	4.75
	Q3	5	5	4	5	4.75
	Q4	4	4	5	4	4.75
<i>User Experience</i>	Q5	4	5	5	4	4.5
	Q6	5	5	5	5	5
<i>Truthfulness of information</i>	Q7	5	5	5	5	5
	Q8	5	4	5	5	4.75
<i>Accuracy of information</i>	Q9	5	5	5	5	5
	Q10	5	5	5	5	5

Table 6 – Results on usability, user experience, truthfulness and accuracy of information

The results of the ATC survey (see table 6) show that the experts' perception of the system's usability is rated at an average of 4.81, i.e. they strongly agree that access and navigation through the application is easy and uncomplicated. Likewise, the experts rate the user experience at 4.75, which means that they are very much in agreement with the satisfaction of the application and are willing to recommend it. In relation to the truthfulness of the information, it is qualified as high quality and reliable (rating of 5), however, it does not consider all the categories of the bank, so it is qualified with 4.75. With respect to the accuracy of the information, all the experts are in full agreement with the results presented by the application.

The results confirm that the application presents a dashboard that is easy to understand and a business analysis that provides enough indicators of profitability and financial strength. In addition, it was possible to determine that the information displayed satisfies the requests of the finance and business management in the banking sector.

5. Conclusions

In this work, a business analysis model has been proposed to automate the process of monitoring financial indicators of credit products in Peruvian banks, which considers 4 components: Dashboard Management, Data Management, Visualizer and Information Display. The model is applicable to any banking entity due to its simplicity and the various existing technologies that facilitate its rapid implementation. In addition, the model has been implemented through a web application called ATC, which uses BI&A tools supported in the Cloud, and which shows profitability and financial strength indicators that will allow financial analysts to quickly and accurately prepare financial analysis and strategies, and will enable senior management to make appropriate and timely decisions.

Application tests with real data from a bank and expert judgement show a very high rating for usability, user experience, truthfulness and accuracy of information. In addition,

the results of the questionnaire show that the experts are totally willing to recommend ATC because of its friendly navigation and structure, as well as showing information that is reliable and of high quality. On the other hand, the time required by the web application to process the data and generate the credit monitoring reports is reduced from 29.7 hours, which the manual process had, to 4.3 seconds.

Finally, future work will be focused on including other financial products, such as savings, and new automatic processes through artificial intelligence, as well as predicting the level of credit placements with machine learning techniques.

References

- Bijakšić, S., Markić, B., & Bevanda, A. (2017). Business intelligence and analysis of selling in retail. *Informatol*, 4(45), 222–231.
- Chacon, S., & Straub, B. (2014). *Pro Git* (2nd Ed.). Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-0076-6>
- Cherny, B. (2019). *Programming TypeScript: Making Your JavaScript Applications Scale* (1st Ed.). O'Reilly Media.
- Choy, M., Costa, E., & Churata, E. (2015). Radiografía del costo del crédito en el Perú. *Revista Estudios Económicos*, 30, 25–55. <https://ideas.repec.org/a/rbp/esteco/ree-30-02.html>
- Crump M. & Luijbregts B. (2019), *La guía de Azure para desarrolladores*. http://download.microsoft.com/download/3/F/2/3F2FFA90-1B49-478A-9199-94106D5FB89A/Azure_Developer_Guide_eBook_es-ES.pdf
- Fernández, I., Loo, C., Nureña, M., & Roca, R. (2019). *Memoria Anual 2019*. <https://www.bbva.pe/content/dam/public-web/peru/documents/prefooter/nuestro-banco/memoria-anual-2019.pdf>
- Huertas, D. (2015). *La colocación de créditos mypes y la relación con el nivel de morosidad en el sistema bancario peruano del 2010 al 2014* [Degree Thesis in Economy, Economy and Finance department, Universidad de San Martín de Porres]. Universidad de San Martín de Porres repository. <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/usmp/1536>
- Kimball, R., Ross, M., Thornthwaite, W., Mundy, J., & Becker, B. (2008). *The Data Warehouse Lifecycle Toolkit* (2nd Ed.). Wiley Publishing Inc.
- López Inga, M. E., & Guerrero Huaranga, R. M. (2018). Modelo de inteligencia de negocios y analítica en la nube para pymes del sector retail en Perú. *Ingeniería Solidaria*, 14(24), 1–17. <https://doi.org/10.16925/in.v14i24.2157>
- Massardi, A. E., Suharjito, & Utama, D. N. (2018). Business Intelligence Design of Rural Bank Performance Assessment Using Financial Ratio Analysis. In *Proceedings of 2018 International Conference on Information Management and Technology*, 143–148. <https://doi.org/10.1109/ICIMTech.2018.8528107>

- Mishra, R. (2016). Business intelligence and analytics: Paving way for operational excellence in indian banks. *International Journal of Management and Social Sciences*, 53–58. <https://doi.org/10.21013/jmss.v3.n1.p14>
- Šćekić, M., Gazivoda, M., Šćepanović, S., & Nikolić, J. (2018). Application of DevOps approach in developing business intelligence system in bank. In *2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/MECO.2018.8406047>
- SPP Perú. (2017). *Finanzas: Banco de Crédito de Perú*. <https://url2.cl/DuUtP>
- Resolución S.B.S. N° 1343-2003 (2003) (testimony of Superintendencia de Banca y Seguros del Perú). https://intranet2.sbs.gob.pe/intranet/INT_CN/DV_INT_CN/1078/v1.0/Adjuntos/1343-2003.r.pdf
- Superintendencia de Banca y Seguros del Perú (2019). *Boletín Informativo Mensual 2019*. https://www.sbs.gob.pe/app/stats_net/stats/EstadisticaBoletinEstadistico.aspx?p=2#
- Susena, K. C., Simanjuntak, D. M., Parwito, Fadillah, W., Yulyardo, & Girsang, A. S. (2018). Business Intelligence for Evaluating Loan Collection Performance at Bank. In *2018 International Conference on Orange Technologies*. <https://doi.org/10.1109/ICOT.2018.8705829>
- Ubiparipović, B., & Đurković, E. (2011). Application of Business Intelligence in the Banking Industry. *Management Information Systems*, 6(4), 23–30.

Modelo de optimización para el cálculo de tiempos estándar en procesos de ensamblaje

Paulina Guerrero¹, Rodrigo Guaman², Eliezer Colina Morles³,
Lorena Siguenza-Guzman^{4*}

pily7717@hotmail.com; rodrigo.guaman@ucuenca.edu.ec; eliezer.colina@ucuenca.edu.ec;
lorena.siguenza@ucuenca.edu.ec

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

² Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

³ Dirección de Investigación, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

⁴ Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja, 01.01.168, Cuenca, Ecuador.

Pages: 231–245

Resumen: En los procesos productivos, los tiempos de producción constituyen un factor importante que influye sobre la competitividad empresarial de cara al cumplimiento oportuno de los objetivos del negocio. Este artículo propone un modelo de optimización matemática, basado en la minimización de una función objetivo no lineal, para la estimación de tiempos estándar con error mínimo desde el ángulo de análisis de varianza, ANOVA, y la comparación de los resultados obtenidos respecto a los logrados con la metodología convencional basada en el uso del cronómetro. También se incluye la validación de resultados con dos casos reales de líneas de ensamblaje de televisores y tarjetas electrónicas. Finalmente, para facilitar una mejor comprensión de los casos de estudio, en términos de entradas, salidas y procesos, se desarrollan los modelos de procesos para los niveles estratégicos, operacional y de soporte, utilizando el Modelo y Notación de Procesos de Negocio (BPMN).

Palabras-clave: Tiempo estándar; modelo de optimización; programación no lineal; BPMN; ANOVA.

Optimization model for the estimation of standard times in the assembly industry

Abstract: In production processes, production times represent an important factor that influences business competitiveness regarding a timely meeting of business objectives. This article proposes a mathematical optimization model based on the minimization of a non-linear objective function, for estimating standard times with a minimum error from a variance analysis (ANOVA) standpoint, in comparison from the results obtained with respect to those achieved with the conventional

chronometer methodology. Results are validated using two study cases of assembly lines of televisions and electronic cards. Finally, in order to provide a better understanding of these study cases, in terms of inputs, outputs and processes, the corresponding business process models are developed for the strategic, operational and support levels and the standard times are calculated using the Business Process Model and Notation (BPMN).

Keywords: Standard time; Optimization model; Nonlinear programming; BPMN; ANOVA.

1. Introducción

Una característica común en las industrias de ensamblaje es la de disponer de modelos rígidos y utilizar capital intensivo en sus procesos productivos (Muñoz Negrón, 2009). Esto ocasiona que cualquier cambio resulte costoso, además que la ocurrencia de irregularidades puede acarrear trabajo en proceso (WIP, por sus siglas en inglés) o la creación de cuellos de botella (Abdelkhak et al., 2018). Esto conlleva a que el establecimiento de procesos estandarizados resulte necesario para una posible optimización de la producción. Desafortunadamente, muchas pequeñas y medianas empresas no tienen estandarizados sus procesos, resultándoles difícil acometer mejoras (Ohno, 2018). Esto conlleva a que el crecimiento esté condicionado a la demanda de productos en períodos de ventas pico, la poca competencia de empresas similares o, simplemente, por circunstancias coyunturales súbitas. Un crecimiento planificado es posible mediante la estandarización de procesos, que conduzca a mejorar índices de cumplimiento productivo y de satisfacción a los clientes (Rajadell & Sánchez, 2010). Efectivamente, para poder subsistir como empresa y estar a la vanguardia en productos o servicios, las empresas modernas deben tener en cuenta factores de competitividad, como: calidad, tiempo de entrega, costos, innovación y servicios al cliente, que marcan una clara distinción en el desempeño empresarial (Bouranta & Psomas, 2017). Entre estos factores, el tiempo de entrega de la producción juega un papel importante, ya que su correcto estudio y análisis puede resultar en oportunidades de estandarización, costos de producción más bajos y por lo tanto de mayor productividad, e incluso de mayor calidad.

El establecimiento de tiempos estándar mediante un estudio de tiempos proporciona beneficios a la empresa como: mejor eficiencia en la atención a clientes, disminución de errores en manejo de procesos, aumento del compromiso de operadores e incremento en niveles de productividad, calidad y seguridad (Shalley & Gilson, 2017). Además, la estandarización de tiempos facilita la planificación de la producción en función del tiempo estándar, la reducción de costos de producción y la posibilidad de establecer mejoras en planta que favorezcan la productividad (Duran et al., 2015). Por ejemplo, Moyano (2016) reporta el aumento de la productividad de una empresa ensambladora de vehículos en un 25% a través de la estandarización de tiempos en uno de sus modelos. Para esto, el autor identificó detalladamente los procesos de producción en las distintas estaciones de trabajo, estimó tiempos promedios mediante recursos audiovisuales, y calculó el tiempo normal y el tiempo estándar mediante un factor de desempeño basado en el sistema Westinghouse. A nivel operacional, para la determinación del tiempo estándar con precisión adecuada se hace uso del cronómetro, que implica la realización

de largas sesiones de medición de tiempos. Hipotéticamente, es posible recurrir a métodos más ágiles para realizar estimaciones de tiempos estándar por medio de modelos matemáticos (Ramírez et al., 2020; Rodas et al., 2019). Con este enfoque sería posible recalcular rápidamente el tiempo estándar cuando se producen modificaciones en la línea de ensamblaje, sin necesidad de iniciar un estudio desde cero. También es posible hacerlo a nivel administrativo, mediante un estudio de trabajo con datos históricos con los que sea posible diagramar y simular los procesos. Sin embargo, esta hipótesis conlleva a interrogantes sobre si un modelo matemático basado optimización no lineal es apropiado para estimar el tiempo estándar del proceso con un mínimo error para el nivel operacional, y sobre la posibilidad de simular los procesos administrativos para obtener una mejor comprensión de los mismos.

El objetivo del artículo es analizar un modelo de optimización matemática para el cálculo de tiempos estándar en procesos de ensamblaje, construido en base al ajuste de una función empleando mediciones de tiempo. La hipótesis formulada será validada a través de los siguientes pasos: revisión de literatura necesaria, análisis de la situación actual de los casos de estudio con el fin de proponer mejoras, cálculo del tiempo estándar mediante la metodología habitual planteada por García (2000) y comparación mediante la formulación de un modelo matemático. También, la obtención del tiempo estándar de los procesos estratégicos, operacionales y de apoyo mediante simulación, usando una herramienta que cumple con la notación BPMN (Modelo y Notación de Procesos de Negocio) para la gestión de procesos de negocio.

2. Materiales y Métodos

Los casos de estudio abordados pertenecen a empresas dedicadas al ensamblaje de televisores y tarjetas electrónicas. Para el primer caso se analizan ocho modelos de televisores con ensamble netamente manual (TV1, TV2D, TV3C, TV4D, TV4P, TV4C, TV5, TV5C) y para el segundo caso, tres modelos de tarjetas electrónicas con ensamble totalmente automatizado (TE1, TE2, TE3) y un modelo con ensamblaje semiautomático (TE4). Por cuestiones de confidencialidad, los modelos de los televisores y tarjetas electrónicas fueron cambiados. El proceso metodológico contempló los siguientes pasos: estudio de métodos, cálculo del tiempo estándar, análisis de varianza ANOVA, cálculo del tiempo estándar mediante un modelo de programación no lineal y, finalmente, simulación de procesos mediante BPMN.

2.1. Estudio de Métodos

Este trabajo contempló como punto de partida el análisis del estado actual del proceso de ensamblaje usando estudio de métodos que, además de facilitar el análisis del estado actual del proceso a tratar, posibilita mejorar la planificación, control y aprovechamiento de material, maquinaria y mano de obra (Munyai et al., 2017). El estudio de métodos se basa una serie de herramientas necesarias para disminuir y eliminar las actividades que no agregan valor, lo cual es posible con el uso de los símbolos planteados por la Organización Internacional del Trabajo, OIT (2011).

El estudio de métodos incluye herramientas como el diagrama de proceso operativo, DPO, y el diagrama de proceso de recorrido, DPR. El primero de ellos muestra la secuencia

cronológica de todas las operaciones, inspecciones, tiempos permitidos y materiales que se utilizan en un proceso de manufactura o de negocios, desde la llegada de la materia prima hasta el empaquetado del producto terminado. Este diagrama se construye de tal manera que las líneas de flujo verticales y las líneas de materiales horizontales no se crucen (Freivalds & Niebel, 2013). Por su lado, el DPR es útil para registrar los costos ocultos no productivos como, por ejemplo, las distancias recorridas, los retrasos y los almacenamientos temporales. Una vez que estos períodos no productivos se identifican, los analistas pueden indagar posibilidades de situaciones de mejora y tomar medidas para minimizarlos.

2.2. Cálculo del Tiempo Estándar

El cálculo del tiempo estándar, T_e , se debe realizar en función de datos empíricos y del nivel de detalle que se desea. Si se trata de datos históricos o provenientes de entrevistas, el cálculo se lo realiza mediante una ecuación de ponderación dada por (1); mientras que, para el estudio por cronómetro se recurre a largas sesiones de medición de periodos de tiempo para su análisis, proporcionando un valor más preciso que el producido por cualquier otro método (Chase et al., 2009).

$$T_e = \frac{a+4m+b}{6} \quad (1)$$

Donde,

a = tiempo optimista; i.e., el periodo mínimo razonable en el cual es posible terminar la actividad.

m = tiempo más probable, correspondiente al supuesto más próximo al tiempo que se requerirá.

b = tiempo pesimista; o sea, el período máximo razonable en el cual es posible terminar la actividad.

El estudio por cronómetro, al ser el método más fiable debido a su precisión, necesita establecer un número mínimo N de observaciones. García (2000) plantea un método de cálculo de N en base a un número de observaciones n , previamente realizadas. El cálculo se lo realiza mediante (2), con una desviación σ (3). Para este estudio, el cálculo de N se lo realizó con un valor de K igual a 2, para un error e del 5%.

$$N = \left(\frac{K \cdot \sigma}{e \cdot \bar{T}} \right)^2 b \quad (2)$$

Siendo,

K = coeficiente de riesgo, cuyos valores son: 1 para riesgos de error de 32%, 2 para riesgos de error de 5% y 3 para riesgos de error de 0.3%.

e = error expresado en forma decimal.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n}} \quad (3)$$

Donde,

T_i = valores obtenidos de los tiempos por cronómetro.

$\bar{T}$ = media aritmética de tiempos cronometrados previos por elemento dada por (4).

n = el número de observaciones de tiempo efectuadas con anterioridad.

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (4)$$

Alternativamente, el método General Electric (Freivalds & Niebel, 2013) propone un número de observaciones en función al tiempo de ciclo de ensamble, en minutos, tal como se aprecia en la Tabla 1. Para los dos casos de estudio, con un tiempo promedio de ciclo entre 10 y 20 minutos, corresponde un número de ocho observaciones. Sin embargo, para el presente trabajo se establece un número N de diez observaciones. El detalle del levantamiento de información es presentado por Andrade y Elizalde (2018) para televisores y por Benavídez et al. (2019) para tarjetas electrónicas.

Tiempo de ciclo (min)	Número recomendado de ciclo	Tiempo de ciclo (min)	Número recomendado de ciclo
0.10	200	2.00 – 5.00	15
0.25	100	5.00 – 10.00	10
0.50	60	10.00 – 20.00	8
0.75	40	20.00 – 40.00	5
1.00	30	40.00 o más	3
2.00	20		

Tabla 1 – Número de ciclos necesarios para el estudio de tiempos (Freivalds & Niebel, 2013)

Una vez definido y tomado el número de observaciones N se procede al cálculo del tiempo promedio total por actividad, $\bar{T}_a$, dado por (5), luego al cálculo del tiempo normal, T_n , dado por (6), que a su vez depende de un porcentaje de valoración, % de valoración, correspondiente a la calificación del Sistema Westinghouse¹. Finalmente, se obtiene el tiempo estándar, T_e (7), que está en función del resultado del tiempo normal y de los Suplementos (9); que son factores generales conocidos, atribuibles al operador según su género y a múltiples condiciones externas que afectan su desempeño; como por ejemplo, el levantamiento de peso, el trabajo de pie en el caso de televisores y la monotonía mental para el caso de tarjetas electrónicas.

$$\bar{T}_a = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (5)$$

¹ Para mayor información de tablas del Sistema Westinghouse ver García (2000).

$$T_n = \bar{T}_a * (\% \text{ de valoración}) \quad (6)$$

$$T_e = T_n * (1 + \text{Suplementos}) \quad (7)$$

Aun cuando haya similitud en la forma de producción en las líneas de ensamblaje, la construcción de modelos es preferible hacerla para cada caso. Ahora bien, es posible agrupar modelos de líneas de ensamblaje comparando diversos valores medios. Esto se logra en base al tiempo de ciclo, T_c (8), que representa la suma de los tiempos para acometer el ensamblaje de un producto, pero restando los tiempos extraños, $T_{\text{extraño}}$, (lapsos de tiempo en que su presencia puede causar distorsión en el estudio) (Córdova Reyes, 2014) e incluyendo el tiempo promedio total de la actividad $\bar{T}_a$.

$$T_c = (\sum_{l=1}^c T_l) - T_{\text{extraño}} + \bar{T}_a \quad (8)$$

Donde,

T_l = tiempo registrado en la observación l . La concatenación de actividades desde 1 hasta c permite ensamblar un producto.

c = número de actividades.

2.3. Análisis de Varianza ANOVA

La herramienta de análisis de varianza (ANOVA) posibilita la agrupación de modelos de líneas de ensamblaje, comparando diversos valores medios para determinar si alguno de ellos difiere significativamente del resto (Boqué & Maroto, 2004). La agrupación manual de modelos es posible realizarla por (9), que proporciona un valor estadístico F correspondiente a una razón de varianza. Esta razón se calcula al dividir la estimación de la variación entre grupos de la variable independiente con grados de libertad “ $g-1$ ” (V. Entre) y la estimación de la variación de las medias dentro de grupos con grados de libertad “ $n-g$ ” (V. Intra) (Turner & Thayer, 2001).

$$\left[\frac{\text{Variación Entre}_{g-1}}{\text{Variación Intra}_{n-g}} \right] \approx F_{g-1, n-g} \quad (9)$$

El resultado obtenido de (9) se compara con tablas de la distribución F propuestas por Moore (2005); teniendo en cuenta una significancia de al menos 5% para aceptar la hipótesis nula de igualdad entre grupos, según lo estipulado en (10).

$$\text{Si } F > F_{g-1, n-g} \rightarrow H_1 \text{ (Existen diferencias entre modelos)} \quad (10)$$

$$\text{Si } F = F_{g-1, n-g} \rightarrow H_0 \text{ (No existen diferencias entre los modelos)}$$

Para los casos de estudio considerados, el análisis ANOVA se lo realizó con Excel, usando su herramienta complementaria de análisis de varianza de un factor. Para televisores, donde se ensamblan ocho modelos diferentes de equipos, la aplicación del test ANOVA permitió asociar tres modelos de equipos a un grupo, dos modelos de equipos a otro grupo y cada uno de los restantes tres modelos de equipos a grupos individuales. Un ejemplo de análisis, donde se logró agrupar tres modelos de televisores al alcanzar una probabilidad de 6.6%, se presenta en la Tabla 2 y Tabla 3. Para el caso de tarjetas electrónicas, la agrupación no fue posible al no alcanzar una probabilidad mayor al 5%, como lo muestran la Tabla 4 y la Tabla 5.

Grupos	Suma	Promedio	Varianza
TV4P	142.2510037	9.4834002	0.023953983
TV3C	141.4243567	9.4282904	0.028721239
TV4D	143.3322788	9.5554853	0.010714174

Tabla 2 – Resumen análisis ANOVA, caso televisores

Variación	Suma de cuadrados	G. libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.122059294	2	0.061029647	2,8883213	0,066789306	3.219942293
Dentro de los grupos	0.88745154	42	0.021129799			
Total	1.009510834	44				

Tabla 3 – Análisis de Varianza, caso televisores

Grupos	Suma	Promedio	Varianza
TE1	3752.265821	375.22658	0.187901602
TE2	4433.751352	443.37514	0.055468132
TE3	4767.084685	476.70847	0.055468132
TE4	5517.084685	551.70847	0.055468132

Tabla 4 – Resumen análisis ANOVA, caso tarjetas electrónicas

Variación	Suma de cuadrados	Grados libertad	Promedio de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	161402.1925	3	53800.73082	607392.832	1.02713E-84	2,866265551
Dentro de los grupos	3.18875398	36	0.088576499			
Total	161405.3812	39				

Tabla 5 – Análisis de Varianza, caso tarjetas electrónicas

2.4. Optimización No Lineal

Una vez agrupados los modelos de televisores se deben determinar las variables que influyen en el cálculo del tiempo estándar. Esas variables deben poseer una conexión física que justifique su presencia en el modelo matemático, es decir, que afecten tiempos, como el número de operadores y el número de componentes a ser ensamblados. Además, en el modelo matemático habrá parámetros adimensionales como la calificación Westinghouse (Freivalds & Niebel, 2013) y los Suplementos (OIT. Oficina Internacional del Trabajo, 2011).

En los casos de estudio considerados, los datos medidos no poseen un patrón regular que sugiriera un comportamiento lineal, por lo que se optó por construir un modelo de optimización no lineal mediante la herramienta Solver de Excel. Así, el tiempo estándar estimado T_{ee} se obtuvo a partir de (11), con a_1 , a_2 y b parámetros de ajuste a ser calculados en el modelo matemático. En relación a la función objetivo, se utilizó una versión normalizada de la desviación estándar, S , que permite determinar la variación de los valores calculados respecto de la media, tal como aparece en (12). Note que S es función del error, dado por (13), con tiempo ciclo medio $\bar{T}_c$ definido por (14). También, fueron considerados dos casos: uno sin restricciones, debido a que éstas se encuentran implícitas en las variables y otro con la restricción de que $T_{ee} \geq T_c$. El objetivo es minimizar la función objetivo, por selección de los parámetros a_1 , a_2 y b , satisfaciendo el modelo descrito por (11). Los parámetros del modelo que influyen en la estimación de tiempos para los casos de los productos de ensamblaje considerados (televisores y tarjetas electrónicas) se visualizan en la Tabla A1 del Anexo A. La “x” simboliza que ese parámetro o variable no afecta la estimación, mientras que una “v” representa que el parámetro o variable sí la afecta. De esa manera es posible visualizar cómo el modelo es utilizado para cada caso. Para propósitos ilustrativos, la Tabla A2 del Anexo A contempla datos empíricos relativos al ensamble de los modelos TV4C y TV5, que incluye valores de la calificación Westinghouse P1 y suplementos P2. Igualmente, la Tabla A3 del mismo Anexo A contiene valores empíricos asociados al ensamble de la tarjeta electrónica TE2.

$$T_{ee} = \lambda a_1 X_1 + (1 - \lambda) a_1 X_2 + a_2 X_3 + b \quad (11)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N}} \quad (12)$$

$$e_i = \frac{T_{eei} - \bar{T}_c}{\bar{T}_c} \quad (13)$$

$$\bar{T}_c = \frac{\sum_{i=1}^N T_c}{N} \quad (14)$$

Donde, para el caso de televisores modelos TV4P, TV3C y TV4D,

λ = variable binaria, que vale 0 para TV de pantalla plana P y 1 para TV de pantalla curva C.

X_1 = producto de la calificación Westinghouse P1 y el número de tornillos para televisores de pantalla curva.

X_2 = producto de la calificación Westinghouse P1 y el número de tornillos para televisores de pantalla plana.

X_3 = producto de Suplementos P2 y el número de operadores. P1 y P2 son parámetros adimensionales correspondientes a la calificación y los suplementos.

Para el caso de televisores modelos TV4C y TV5 (Anexo A, Tabla A4)

λ = variable binaria, que vale 0 para TV ensamblados en celdas de producción y 1 para TV ensamblados en línea de producción.

X_1 = producto de la calificación Westinghouse P1, el número de tornillos y el número de uniones tuerca tornillo para TV ensamblados en línea de producción.

X_2 = producto de la calificación Westinghouse P1, el número de tornillos y el número uniones tuerca tornillo para TV ensamblados en celdas de producción.

X_3 = producto de Suplementos P2 y el número de operadores. P1 y P2 son parámetros adimensionales correspondientes a la calificación y los suplementos.

Para TV2D, TV1 y TV5C, que según el análisis de varianza les corresponden modelos matemáticos individuales, λ posee un valor de 1.

Para el caso de tarjetas electrónicas, que según el análisis de varianza también corresponden modelos matemáticos individuales, se tiene (Anexo A, Tabla A5):

λ = siempre vale 1.

X_1 = suma de las calificaciones del sistema Westinghouse para los procesos de empaque y almacenaje de la línea automática.

X_3 = suma de suplementos para los procesos empaque, prueba de calidad y almacenaje de la línea automática.

2.5. Simulación de Procesos mediante BPMN

La simulación de procesos mediante BPMN además de determinar valores de tiempos estándar, también facilita una mayor comprensión del negocio al organizar la información de la estructura y funcionamiento del sistema compuesto de entradas, procesos y salidas. Adicionalmente, permite visualizar los flujos de trabajo, así como la interacción entre recursos que intervienen en los mismos (Bolaños & López, 2012). A fin de obtener un buen nivel de detalle, se hace uso de BPMN, que representa un nuevo paradigma para la aplicación de tecnologías de información y comunicaciones en las organizaciones, denominado Gestión de Procesos de Negocio (Business Process Management, BPM) e incluye un conjunto de herramientas para mejorar la eficiencia/efectividad del negocio y alcanzar una ventaja competitiva.

Una plataforma que cumple con el estándar BPMN es Bizagi que incluso posee un paquete completo de diagramación para incorporar recursos humanos y dividir el

trabajo en etapas si fuese necesario. Adicionalmente, permite realizar simulaciones cumpliendo los pasos de: validación, análisis de tiempo, análisis de recurso y análisis de calendarios. En este estudio, los procesos administrativos fueron modelizados y simulados mediante la versión gratuita de Bizagi, que posee como insumo los tiempos por subprocesos resultantes de aplicar (1), considerada como teórica al ser obtenida por entrevistas a cargo de los responsables del levantamiento de procesos. Una vez finalizada la simulación se obtiene el tiempo por actividad, subproceso y proceso identificado.

3. Resultados y Discusión

Como resultado de este trabajo fueron construidos modelos de optimización no lineal para estimar tiempos estándar en líneas de ensamblaje de dos empresas manufactureras. La Figura 1 contiene una comparación de valores de tiempos estándar estimados por medio del modelo de optimización no lineal y los valores calculados por el método convencional para los grupos encontrados de modelos de televisores. Por ejemplo, para el modelo de televisor TV1, se obtuvo un tiempo estándar de 8.27 min por el método habitual, un tiempo estimado de 6.62 min con el modelo no lineal sin restricción y de 6.92min con el modelo no lineal con restricciones. La Figura 1 también incluye las comparaciones de tiempos estándar para los otros modelos de televisores considerados, siendo el modelo de televisor TV5C el que mayor tiempo estándar posee, debido a que además de ser ensamblado en celda, al igual que el modelo TV5, posee pantalla curva y requiere mayor cuidado en la manipulación. Por otro lado, la Figura 2 hace referencia a la comparación de valores estimados y valores calculados de tiempos estándar para el caso de estudio de ensamblaje de tarjetas electrónicas. Por ejemplo, para la tarjeta TE1 el tiempo estándar por el método habitual resultó 6.32 min, el tiempo estimado con el modelo no lineal sin restricciones fue de 6.25min y el tiempo estándar estimado con el modelo no lineal con restricciones fue de 6.27min.

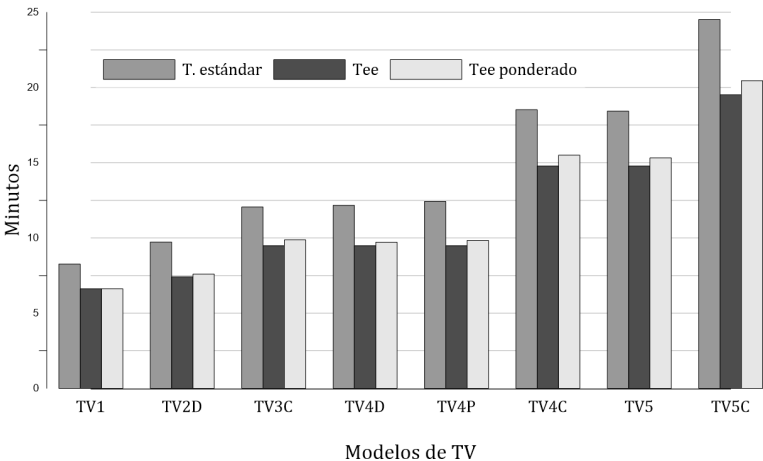


Figura 1 – Comparación cálculo del Tiempo estándar. Caso televisiones.

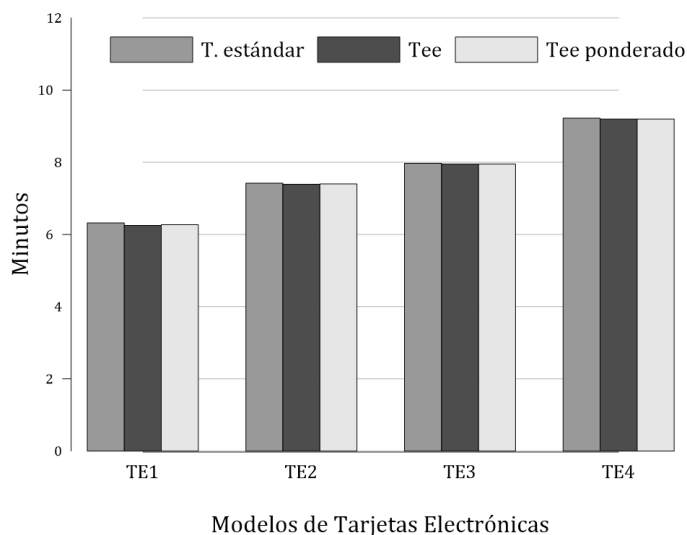


Figura 2 – Comparación cálculo del Tiempo estándar. Caso tarjetas electrónicas.

Los tiempos estándar de la parte administrativa de los casos de estudio obtenidos por Bizagi muestran una visible diferencia con el tiempo calculado siguiendo la metodología habitual de García (2000). La Figura 3 corresponde a los “setups” de la empresa ensambladora de tarjetas electrónicas.

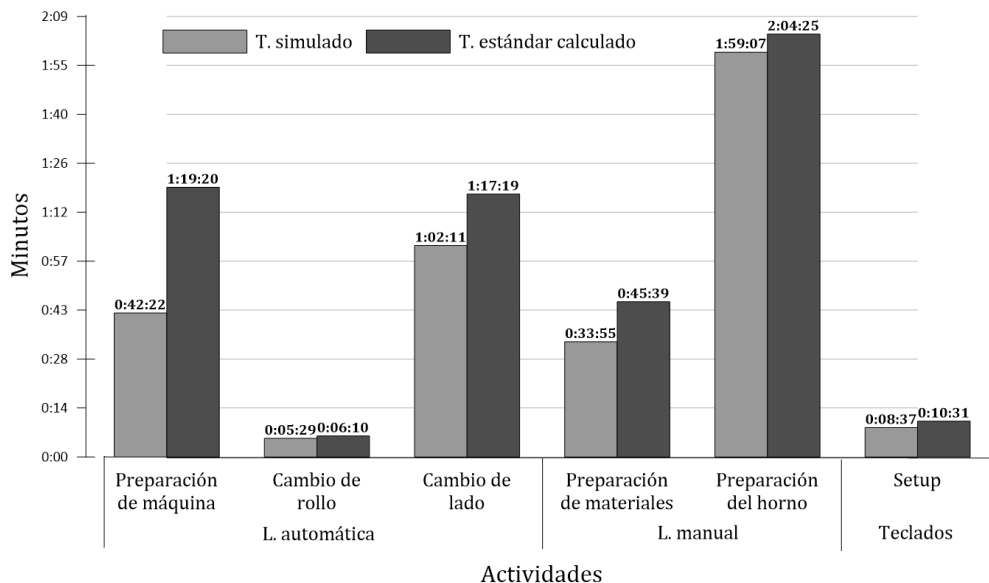


Figura 3 – Tiempo simulado en Bizagi vs. Metodología habitual de García (9)

Es un hecho conocido que la estimación del tiempo estándar facilita el control operacional y su análisis profundo saca a la luz posibles factores importantes. En el caso de ensamble de televisores, quedó reflejado que el transporte es una actividad que no agrega valor y que, si bien no puede ser eliminado por la distribución del espacio de trabajo, si puede ser minimizado mediante una organización de retiro regular de material del camino. En cuanto al ensamblaje de tarjetas, también existen operaciones que no agregan valor, como el almacenamiento, pero que es importante debido a los grandes lotes de producción.

En lo referente a la determinación del tiempo estándar por la metodología habitual, es necesario precisar que la diferencia con respecto al tiempo observado, para el caso de estudio de televisores varía entre un 25% a 30% según el modelo, debido a las características de los mismos. Para el caso de tarjetas electrónicas donde predomina el ensamble automático, esa diferencia máxima es del 1% debido a que por su naturaleza no existe suplemento alguno.

Respecto al resultado del modelo para el caso de estudio de televisores, la variación se puede atribuir a que el cálculo del tiempo estándar por la metodología habitual se consideró solo los tiempos cronometrados por actividad, mientras que para el modelo se tomó el tiempo total del ciclo, agregando el promedio de todos los tiempos cronometrados en aquellas actividades donde no hubo mediciones para así reducir el sesgo; esto es, la diferencia se presenta en el levantamiento de procesos y no en la medición. Una situación diferente sucedió en el ensamblaje de tarjetas electrónicas, ya que todas las actividades habían sido cronometradas y no fue necesario agregar ni reemplazar ningún tiempo; llegando así a validar la hipótesis de que el modelo permite estimar el tiempo estándar con un error mínimo y más rápidamente que haciendo el análisis habitual. Otro factor importante a destacar es la inclusión de restricciones al modelo, que conllevan a estimar un tiempo mayor al cronometrado, siendo este el tiempo estándar y no el ideal. Este resultado solo ocurriría si el error fuese nulo, lo cual es posible en caso de un ensamblaje completamente automático. Como un importante aporte del estudio se presentan en la Tabla A1 del Anexo A los componentes del modelo de optimización propuesto y su interrelación. Finalmente, los procesos de ensamblaje simulados mediante Bizagi, gracias a la diagramación, proporcionan al usuario un rápido entendimiento del desarrollo del proceso. La veracidad de los datos colectados juega un papel importante con respecto a la simulación, ya que los resultados se afectan al tener datos no confiables o datos promedios entre valores optimistas y pesimistas.

4. Conclusión

Para los casos de estudio considerados en este trabajo, se propuso un modelo no lineal que agiliza el cálculo del tiempo estándar para el nivel operativo en base a variables que afectan al tiempo. Para la parte administrativa, en los niveles estratégicos, operacional y de apoyo, la construcción de modelos con Bizagi condujo a la obtención de tiempos estándar y proporcionó un panorama claro del desarrollo de los procesos. Finalmente, es importante destacar la importancia de la toma de datos, puesto que influyen en la prueba de la hipótesis de minimizar el error entre el tiempo estándar calculado con la metodología habitual y el estimado del modelo matemático. La subjetividad del entrevistado es otro limitante para la simulación de procesos mediante la herramienta

de modelación. Para neutralizar las limitaciones antes mencionadas, al iniciar la construcción del modelo es importante realizar una planificación junto con personas expertas, como base del estudio. En cuanto a la subjetividad de los entrevistados, es posible neutralizarla mediante seguimientos continuos de toda la jornada de trabajo para confirmar o descartar la información obtenida. El modelo matemático propuesto puede ser una poderosa herramienta para proyectos futuros, dirigidos a aumentar el desempeño y la producción en base a incentivos. Esto se logra al establecer un tiempo estándar y hacer un control de tiempo a varios operadores que realicen la misma actividad durante la jornada de trabajo por varios días, para luego ajustar el tiempo objetivo y aumentar el volumen de producción.

Anexo A: Parámetros y resultados del modelo de T_{ee} para el ensamblaje de televisores y tarjetas electrónicas

Los parámetros del modelo de T_{ee} para el ensamblaje de televisores y tarjetas electrónicas, así como los resultados de parámetros por programación no lineal ponderada de televisores pueden encontrarse online en el siguiente enlace <https://imagineresearch.org/wp-content/uploads/2020/09/Tiempos-Anexo-A.pdf>

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto “Modelo de Gestión para la Optimización de Procesos y Costos en la Industria de Ensamblaje”, ganador del XV Concurso Universitario de Proyectos, financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca. Los autores agradecen a los directivos de las empresas casos de estudio, así como un especial agradecimiento a los miembros del equipo.

Referencias

- Abdelkhak, M., Salama, S., & Eltawil, A. B. (2018). Improving Efficiency of TV PCB Assembly Line Using a Discrete Event Simulation Approach: A Case Study. *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Modeling and Simulation*, 211–215. <https://doi.org/10.1145/3177457-3177495>
- Andrade, E., & Elizalde, B. (2018). *Levantamiento de procesos de ensamblaje de televisores para la empresa Suramericana de motores Motsur Cia. Ltda* [Tesis (Pregrado), Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29718>
- Benavídez Vera, E. X., Segarra Farfán, E. M., Colina-Morles, E., Siguenza-Guzman, L., & Arcenales-Carrion, R. (2019). Levantamiento de procesos como base para la aplicación de sistemas de costeo basado en actividades en empresas de ensamblaje. *Revista Economía y Política*, 30, 40-71. <https://doi.org/10.25097/rep.n30.2019.03>
- Bolaños, S. J. B., & López, S. A. L. (2012). LMPS como propuesta alterna a BPMN para el modelado de procesos de software. *Tecnura*, 16(34), 157-170. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2012.4.a11>

- Boqué, R., & Maroto, A. (2004). El análisis de la varianza (ANOVA). 1. Comparación de múltiples poblaciones. *Comparación de múltiples poblaciones. Grupo de Quimiometría y Cualimetría. Universitat Rovira i Virgili*.
- Bouranta, N., & Psomas, E. (2017). A comparative analysis of competitive priorities and business performance between manufacturing and service firms. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 66(7), 914-931. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2016-0059>
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Alquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros* (Duodécima edición). McGraw Hill.
- Córdova Reyes, C. F. R. (2014). *Propuesta de mejora del método de ensamblaje de motocicletas en una planta de producción guatemalteca* [Tesis (Pregrado)]. Universidad Rafael Landívar.
- Duran, C., Cetindere, A., & Aksu, Y. E. (2015). Productivity Improvement by Work and Time Study Technique for Earth Energy-glass Manufacturing Company. *Procedia Economics and Finance*, 26, 109-113. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00887-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00887-4)
- Freivalds, A., & Niebel, B. (2013). *Niebel's Methods, Standards, & Work Design: 13th Edition*. McGraw-Hill Higher Education.
- García, R. (2000). *Estudio del trabajo: Ingeniería de métodos*. McGraw-Hill.
- Moore, D. S. (2005). *Estadística aplicada básica* (2da ed.). Antoni Bosch editor.
- Moyano, J. (2016). *Optimización de la producción en el área de soldadura de la empresa CIAUTO Ambato mediante el balanceo de línea, utilizando estandarización de tiempos para el modelo M4*. [Tesis (Pregrado)]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Munyai, T. T., Mbonyane, B. L., Mbohwa, C., Mbonyane, B. L., & Mbohwa, C. (2017). *Productivity Improvement in Manufacturing SMEs: Application of Work Study*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9781315180311>
- MuñozNegrón, D. F. (2009). *Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios*. Cengage Learning Editores.
- Ohno, T. (2018). *El sistema de producción Toyota: Más allá de la producción a gran escala*. Routledge.
- OIT.OficinaInternacionaldelTrabajo.(2011).*Introducciónalestudiodeltrabajo*(G.Kanawaty, Ed.; 4a ed.). Limusa. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UCC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=127664>
- Rajadell, M., & Sánchez, J. L. (2010). *Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad*.
- Ramirez, J., Guaman, R., Morles, E. C., & Siguenza-Guzman, L. (2020). Prediction of Standard Times in Assembly Lines Using Least Squares in Multivariable Linear Models. *Applied Technologies*, 1195, 455-466. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42531-9_36

- Rodas, P., Guaman, R., Colina Morles, E., Peña, M., & Siguenza-Guzman, L. (2019). Mathematical model based on linear programming and fuzzy logic for time prediction in bicycle assembly industries. *RISTI (Iberian Journal of Information Systems and Technologies)*, *E19*, 581-594.
- Shalley, C. E., & Gilson, L. L. (2017). Creativity and the Management of Technology: Balancing Creativity and Standardization. *Production and Operations Management*, *26*(4), 605-616. <https://doi.org/10.1111/poms.12639>
- Turner, J. R., & Thayer, J. (2001). *Introduction to Analysis of Variance: Design, Analysis & Interpretation: Design, Analysis & Interpretation*. SAGE.

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 asociados 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



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: _____



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

©AISTI 2020 <http://www.aisti.eu>

