



ISSN: 1646-9895

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información

O u t u b r o 1 8 • O c t o b e r 1 8



©AISTI 2018 <http://www.aisti.eu>

Nº 29

Edição / Edición

Nº 29, 10/2018

Tiragem / Tirage: 1000

Preço por número / Precio por número: 17,5€

Subscrição anual / Suscripción anual: 30€ (2 números)

ISSN: 1646-9895

Depósito legal:

Indexação / Indexación

Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, IndexCopernicus, Index of Information Systems Journals, ISI Web of Knowledge, Latindex, ProQuest, QUALIS, SciELO, SCImago, Scopus, SIS, Ulrich's.

Propriedade e Publicação / Propriedad y Publicación

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.risti.xyz>

Director

Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra

Coordenadores da Edição / Coordinadores de la Edición

Gloria Piedad Gasca-Hurtado, Universidad de Medellín

Liliana Machuca-Villegas, Universidad del Valle

Conselho Editorial / Consejo Editorial

Carlos Ferrás Sexto, Universidad de Santiago de Compostela

Gonçalo Paiva Dias, Universidade de Aveiro

Jose Antonio Calvo-Manzano Villalón, Universidad Politécnica de Madrid

Luís Paulo Reis, Universidade do Porto

Manuel Pérez Cota, Universidad de Vigo

Ramiro Gonçalves, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Conselho Científico / Consejo Científico

Adolfo Lozano-Tello, Universidad de Extremadura, ES

Adrián Hiebra Pardo, Universidad de Santiago de Compostela, ES

Alberto Fernández, Universidad Rey Juan Carlos, ES

Alberto Bugarín, Universidad de Santiago de Compostela, ES

Alejandro Medina, Universidad Politécnica de Chiapas, MX

Alejandro Rodríguez González, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Alejandro Peña, Escuela de Ingeniería de Antioquia, CO

Alexandre L'Erario, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, BR

Ana Azevedo, Instituto Politécnico do Porto, PT

Ana Cristina Ramada Paiva, FEUP, Universidade do Porto, PT

Ana Isabel Veloso, Universidade de Aveiro, PT

Ana Maria Correia, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT

Ana Paula Afonso, Instituto Politécnico do Porto, PT

Anabela Mesquita, Instituto Politécnico do Porto, PT

Angelica Caro, Universidad del Bío-Bío, CL

Antoni Lluís Mesquida, UIB, España

António Coelho, FEUP, Universidade do Porto, PT

António Godinho, ISLA-Gaia, PT

Antonio Jesus Garcia Loureiro, Universidad de Santiago de Compostela, ES
António Pereira, Instituto Politécnico de Leiria, PT
Armando Mendes, Universidade dos Açores, PT
Arnaldo Martins, Universidade de Aveiro, PT
Arturo J. Méndez, Universidad de Vigo, ES
Baltasar García Pérez-Schofield, Universidad de Vigo, ES
Bell Manrique, Universidad de Medellín, Colombia
Benjamim Fonseca, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Bráulio Alturas, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Brenda L. Flores-Rios, Universidad Autónoma de Baja California, MX
Brígida Mónica Faria, ESTSP, Instituto Politécnico do Porto, PT
Carlos Costa, Universidade de Aveiro, PT
Carlos Carreto, Instituto Politécnico da Guarda, PT
Carlos Morais, Instituto Politécnico de Bragança, PT
Carlos Mario Zapata, Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Carlos Pon Soto, Universidad Católica del Norte, Chile
Carlos Vaz de Carvalho, Instituto Politécnico do Porto, PT
Ciro Martins, Universidade de Aveiro, PT
Daniel Castro Silva, Universidade de Coimbra, PT
Daniel Polónia, Universidade de Aveiro, PT
Daniel Riesco, Universidad Nacional de San Luis, AR
David Fonseca, Universitat Ramon Llull, ES
David Ramos Valcarcel, Universidad de Vigo, ES
Dora Simões, Universidade de Aveiro, PT
Eduardo Sánchez Vila, Universidad de Santiago de Compostela, ES
Emiliano Reynares, CIDISI - UTN FRSF - CONICET, AR
Enric Mor, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Eusébio Ferreira da Costa, Escola Superior de Tecnologias de Fafe, PT
Fábio Magalhães, Universidade Nove de Julho, BR
Feliz Gouveia, Universidade Fernando Pessoa, PT
Fernando Bandeira, Universidade Fernando Pessoa, PT
Fernando Moreira, Universidade Portucalense, PT
Francisco Restivo, Universidade Católica Portuguesa, PT
Frederico Branco, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT

Gerardo Gonzalez Filgueira, Universidad da Coruña, ES
Germano Montejano, Universidad Nacional de San Luis, AR
Guilhermina Lobato Miranda, Universidade de Lisboa, PT
Hélder Zagalo, Universidade de Aveiro, PT
Hélia Guerra, Universidade dos Açores, PT
Henrique Gil, Instituto Politécnico de Castelo Branco, PT
Henrique Santos, Universidade do Minho, PT
Higino Ramos, Universidad de Salamanca, ES
Hugo Paredes, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Isabel Pedrosa, Instituto Politécnico de Coimbra, PT
Isaura Ribeiro, Universidade dos Açores, PT
Isidro Calvo, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), ES
Ismael Etxeberria-Agiriano, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), ES
Ivan Garcia, Universidad Tecnológica de la Mixteca, MX
Javier Garcia Tobio, CESGA-Centro de Supercomputacion de Galicia, ES
Jezreel Mejia, Centro de Investigación en Matemática (CIMAT), MX
João Pascual Faria, FEUP, Universidade do Porto, PT
João Paulo Costa, Universidade de Coimbra, PT
João Tavares, FEUP, Universidade do Porto, PT
Joaquim José Gonçalves, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT
Joaquim Madeira, Universidade de Aveiro, PT
Joaquim Reis, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Jörg Thomaschewski, University of Applied Sciences OOW - Emden, DE
Jorge Dias Villegas, Universidad de la Frontera, CL
Jose Alfonso Aguilar, Universidad Autonoma de Sinaloa, MX
José Augusto Fabri, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, BR
José Braga de Vasconcelos, Universidade Atlântica, PT
José Cascalho, Universidade dos Açores, PT
José Felipe Cocón Juárez, Universidad Autónoma del Carmen, MX
José Gallardo, Universidad Católica del Norte, Chile
Jose J. Pazos-Arias, Universidad de Vigo, ES
José Luís Silva, Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), PT
José Paulo Lousado, Instituto Politécnico de Viseu, PT
José Luis Pestrana Brincones, Universidad de Málaga

José Luís Reis, ISMAI - Instituto Superior da Maia, PT
Jose M Molina, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose Maria Zavala Perez, Eticas Research & Consulting, ES
José Martins, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Jose Maria de Fuentes, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose R. R. Viqueira, Universidade de Santiago de Compostela, ES
José Silvestre Silva, Academia Militar, PT
Josep M. Marco-Simó, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Juan D'Amato, PLADEMA-UNCPBA-CONICET, AR
Juan M. Santos Gago, Universidad de Vigo, ES
Juan Manuel Fernández-Luna, Universidad de Granada, ES
Juan-Manuel Lopez-Zafra, Universidad Complutense de Madrid, ES
León Jaramillo, Tecnológico de Antioquia, Colombia
Leonardo Bermon, Universidad Nacional de Colombia, CO
Leila Weitzel, Universidade Federal Fluminense, BR
Lilia Muñoz, Universidad Tecnológica de Panamá, PA
Lorena Cardona, Universidad de Medellín, Colombia
Luis Alvarez Sabucedo, Universidad de Vigo, ES
Luís Bruno, Instituto Politécnico de Beja, PT
Luis de Campos, Universidad de Granada, ES
Luis Fernandez-Sanz, Universidad de Alcalá, ES
Luís Ferreira, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT
Luis Vilán-Crespo, Universidad de Vigo, ES
Luisa María Romero-Moreno, Universidad de Sevilla, ES
Luisa Miranda, Instituto Politécnico de Bragança, PT
Lus Sussy Bayona Ore, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, PE
Magdalena Arcilla Cobián, Universidade Nacional de Educación a Distancia, ES
Manuel Jose Fernandez Iglesias, Universidad de Vigo, ES
Marco Painho, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Maria Hallo, Escuela Politécnica Nacional, EC
María J. Lado, Universidad de Vigo, ES
Maria João Castro, Instituto Politécnico do Porto, PT
Maria João Ferreira, Universidade Portucalense, PT
Maria João Gomes, Universidade do Minho, PT

Maria José Angélico, Instituto Politécnico do Porto, PT
Maria José Marcelino, Universidade de Coimbra, PT
Maria José Sousa, Universidade Europeia, PT
Marisol B. Correia, Universidade do Algarve, PT
Maristela Holanda, Universidade de Brasília, BR
Martín Llamas Nistal, Universidad de Vigo, ES
Matías García Rivera, Universidad de Vigo, ES
Mercedes Ruiz, Universidad de Cádiz, ES
Miguel A. Brito, Universidade do Minho, PT
Miguel Bugalho, Universidade Europeia, PT
Miguel Casquilho, IST, Universidade de Lisboa, PT
Miguel Hidalgo, INACOL, Mexico
Mirna Ariadna Muñoz Mata, Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), MX
Mirna Muñoz, Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), México
Nelson Rocha, Universidade de Aveiro, PT
Nuno Lau, Universidade de Aveiro, PT
Nuno Ribeiro, Universidade Fernando Pessoa, PT
Oscar Mealha, Universidade de Aveiro, PT
Paula Peres, Instituto Politécnico do Porto
Paula Prata, Universidade da Beira Interior, PT
Paulo Martins, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Paulo Pinto, FCT, Universidade Nova de Lisboa, PT
Pedro Abreu, Universidade de Coimbra, PT
Pedro Miguel Moreira, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, PT
Pedro Nogueira Ramos, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Pedro Sánchez Palma, Universidad Politécnica de Cartagena, ES
Pedro Sanz Angulo, Universidad de Valladolid, ES
Pilar Mareca Lopez, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Raul Laureano, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Reinaldo Bianchi, Centro Universitário da FEI, BR
Rita Santos, Universidade de Aveiro, PT
Rodolfo Miranda Barros, Universidade Estadual de Londrina, BR
Rogério Eduardo Garcia, Universidade Estadual Paulista, BR
Rubén González Crespo, Universidad Internacional de La Rioja, ES

Rui Cruz, IST, Universidade de Lisboa, PT
Rui José, Universidade do Minho, PT
Rui Pedro Marques, Universidade de Aveiro, PT
Santiago Gonzales Sánchez, Universidad Inca Garcilaso de la Vega, PE
Sergio Gálvez Rojas, Universidad de Málaga, ES
Sérgio Guerreiro, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, PT
Sílvia Fernandes, Universidade do Algarve, PT
Solange N Alves de Souza, Universidade de São Paulo, BR
Tomás San Feliu, Universidad Politécnica de Madrid, España
Tomás San Feliu Gilabert, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Valéria Farinazzo Martins, Universidade Presbiteriana Mackenzie, BR
Victor Hugo Medina Garcia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Vitor Carvalho, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT
Vitor Santos, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Wagner Tanaka Botelho, Universidade Federal do ABC, BR
Xose A. Vila, Universidad de Vigo, ES

El impacto de las Ciencias de la Computación en el mundo real

The impact of Computer Science in the real world

Gloria Piedad Gasca-Hurtado ¹, Liliana Machuca-Villegas^{1,2}

gpgasca@udem.edu.co, liliana.machuca@correounivalle.edu.co

¹ Universidad de Medellín, Carrera 87 No. 30-65, 50026, Medellín, Colombia

² Universidad del Valle, Calle 13 # 100-00, 760032, Cali, Valle del Cauca, Colombia

DOI: 10.17013/risti.29.0

1. Introducción

Los artículos presentados en este número fueron seleccionados de los trabajos aceptados en el Undécimo Seminario de Ciencias de la Computación (SICC) 2018, realizado en la Ciudad de Medellín, Antioquia, Colombia durante los días 10, 11 y 12 de octubre del 2018. Este seminario ha tenido una tasa de aceptación del 13.63% de los artículos enviados.

En este número de la Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información (RISTI), se abordan temas relacionados con las “Ciencias de la Computación”. Los trabajos de este número son las versiones originales presentadas por los autores en comunicación oral durante el congreso SICC 2018 y que fueron seleccionados después de realizarse un proceso de evaluación por pares doble ciego.

2. Ciencias de la computación

El impacto de las Ciencias de la Computación en la vida y el desarrollo de la humanidad es invaluable, sus desarrollos como disciplina han hecho realidad muchas ideas que parecían imposibles (Pulla, Limaye, & Yajnik, 2016) años atrás. Tal vez, por esta razón es que actualmente las Ciencias de la Computación es una disciplina reconocida por su aporte a la humanidad más que por sus aportes en computación o informática, como posiblemente se pensó en sus inicios (Denning, Tedre, & Yongpradit, 2017).

El impacto que tiene la solución de problemas reales a través de las Ciencias de la Computación y el aporte que constantemente hace al desarrollo de la vida, la reconocen como una disciplina que deja de lado el diseño y la construcción de máquinas o robots, para constituirse en una ciencia preocupada por la construcción de herramientas que solucionen problemas de la humanidad. Por ejemplo, los lenguajes de programación son una herramienta esencial y central de la disciplina, que facilita la implementación de soluciones en el mundo real, ya sea de índole académica o científica, en áreas de la ciencia como la medicina, la biología, la informática o la computación.

En consecuencia, las Ciencias de la computación es una disciplina base para el desarrollo de las otras disciplinas con una gama de posibilidades amplia, desde sus fundamentos teóricos y algorítmicos hasta desarrollos de vanguardia en robótica, visión artificial, sistemas inteligentes, bioinformática entre otras áreas. Se extiende desde la teoría hasta la programación.

Como parte del aporte de las Ciencias de la Computación en educación, existe una preocupación constante porque, desde edades tempranas, se enseñe a programar independientemente de las preferencias profesionales a futuro. Por lo anterior, adquirir conocimiento adecuado es indispensable y por ende es necesario que las instituciones educativas tengan herramientas para mejorar los ambientes de aprendizaje, los cuales comúnmente dependen de condiciones biológicas, psicológicas, ambientales, escolares y de comunidad (Gómez, Aduna, García, Cisneros, & Padilla, 2004).

Por otro lado, el impacto de las Ciencias de la Computación en términos de soluciones para la sociedad se ve reflejado con el avance informático en términos de desarrollo de software, en especial en el ámbito de nuevas herramientas para acelerar los procesos de desarrollo de software. En este sentido, la calidad es el atributo que tiene mayor relevancia en la determinación del éxito de un producto software (Puello, Feliu, & Calvo-Manzano, 2016).

Asociado a la calidad del software, se ve reflejado también en las Ciencias de la Computación la mejora de procesos, con el objetivo de analizar y definir cómo mejorar las prácticas de desarrollo software, partiendo de una evaluación del proceso en uso. En este esquema de mejora de proceso software los factores humanos se consideran también factores críticos de éxito asociados a los procesos de desarrollo de software (Casañola, Estrada, & León-Rodríguez, 2014).

Sin embargo, no solo los factores críticos de éxito son materia de investigación en esta disciplina. Los enfoques de calidad de software trascienden modelos y/o estándares como guías para lograr que productos de software respondan a las necesidades de la sociedad y la industria.

Siendo hoy en día las empresas pequeñas o medianas las de mayor presencia en la industria del software en cualquier país, existen propuestas orientadas a cubrir necesidades de estas empresas en la implementación de buenas prácticas de ingeniería de software para el desarrollo de productos de calidad que les permitan mejorar su operación y sus procesos (Sanchez-Gordon, de Amescua, O'Connor, & Larrucea, 2017) (Larrucea, O'Connor, Colomo-Palacios, & Laporte, 2016).

Por otro lado, las nuevas tecnologías de la sociedad de la información inmersas también en la disciplina Ciencias de la Computación están formando parte directa de las profundas transformaciones sociales a las que se viene asistiendo en las últimas décadas (Atienza, 2017). Dentro de los servicios de distribución de contenidos multimedia, se destaca el servicio de video bajo demanda VoD (Pripuzić et al., 2013) que cuenta ventajas importantes. Sin embargo, ciertos problemas que dificultan la interacción del usuario han sido identificados en el marco de investigaciones que pretenden generar propuestas a dichos problemas con el fin de facilitar el acceso ágil al contenido multimedia.

Finalmente, en el marco de las Ciencias de la Computación con una relevante importancia se avanza en el desarrollo de modelos computacionales que interrelacionados con experimentación permiten el diseño de novedosas estrategias de control en el campo de la automatización, la robótica y la manufactura.

Las aristas de esta disciplina que se han mencionado son parte de los avances investigativos que se presentan en los trabajos seleccionados para ser publicados en este número de RISTI. Estos trabajos han sido seleccionados porque abordan temáticas de interés en la actualidad y se enmarcan en soluciones del mundo real con un enfoque asociado a las Ciencias de la Computación.

3. Estructura

En el primer artículo se realiza un estudio sobre estilos de aprendizaje aplicando técnicas de minería de datos a la información derivada de la aplicación de dos test llamados VARK y CHAEA a los estudiantes de la Institución Educativa Joaquín Cárdenas Gómez del Municipio de San Carlos – Antioquia (Colombia). Como resultado de este estudio, se genera un plan de apoyo a la gestión directiva con la identificación de factores que afectan el aprendizaje. Entre los hallazgos más relevantes está la verificación de que los estilos de aprendizaje por sí solos no influyen en la repitencia, se requiere la combinación de otros elementos como la edad y el uso de varios estilos de aprendizaje.

En el segundo artículo se propone una guía que facilita la aplicación del modelo de DeLone & McLean, denominado D&M, para la evaluación de productos de software para pequeños entornos. El principal aporte de esta guía radica en la definición de pasos y en el catálogo de preguntas preestablecidas para que un pequeño entorno, sin poseer conocimientos acabados en el modelo, pueda rápidamente preparar los instrumentos necesarios para su aplicación. Esta guía fue aplicada en una empresa, demostrando su utilidad para ayudar a los pequeños entornos en la evaluación de los productos de software que dan soporte a sus procesos de negocio.

El tercer artículo tiene como objetivo proponer una primera versión de la estructura de un catálogo de factores humanos, identificados a partir de un conjunto de factores críticos de éxitos los cuales afectan en la mejora de procesos de software en una organización. La principal motivación de este trabajo está dada por la cantidad de empresas de software que continuamente buscan mejorar los procesos necesarios para la creación de un producto de software.

El cuarto artículo es el reporte de una experiencia de la implementación del estándar ISO/IEC 29110 para reforzar el proceso de desarrollo de software de cuatro centros de desarrollo de software de universidades mexicanas. El objetivo de este reporte es aportar facilidades a las organizaciones donde se evidencia una creciente necesidad de mejorar sus procesos de desarrollo de software, con el fin de desarrollar productos y servicios de calidad. Para lograrlo, dichas organizaciones deben cumplir dos requisitos: (1) integrar una cultura de procesos y mejora continua en las organizaciones, y (2) dotar de personal altamente cualificado que tenga el conocimiento y habilidades para trabajar exitosamente con modelos y/o estándares utilizados en las organizaciones. Estos requisitos son abordados desde la experiencia en el trabajo presentado.

El quinto artículo presenta la identificación de algunas debilidades en el servicio de video bajo demanda (VoD), que han sido detectadas a pesar de su amplia difusión. Específicamente, en el trabajo se propone una arquitectura basada en contexto para el servicio de VoD, la cual considera las diferentes dimensiones del contexto y es organizada en 4 vistas: de negocio, de contexto, funcional y de implementación. Esta arquitectura pretende enriquecer la funcionalidad del servicio y contribuir con dos de los problemas identificados del servicio de VoD.

Finalmente, el sexto artículo presenta una estrategia de control novedosa para resolver el problema de regulación de un sistema de servo posicionamiento neumático. En el trabajo se presentan y discuten los resultados de simulaciones y experimentos con un cilindro neumático sin vástago, de 25 mm de diámetro y una válvula de control proporcional de 5/3 vías. Dentro de los hallazgos más importantes está el desempeño en posicionamiento y respuestas simétricas en el movimiento del deslizador en ambas direcciones.

Agradecimientos

Agradecemos al director de la Revista Álvaro Rocha por otorgar la oportunidad para dar a conocer los trabajos más relevantes presentados en el seminario SICC 2018. Asimismo, expresamos nuestra gratitud a los autores de los trabajos publicados, lo cual hizo posible este número en RISTI.

Referencias

- Atienza, C. N. (2017). *El video bajo demanda en televisión: test de causalidad Granger en los ciclos de vida de un servicio video bajo demanda*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Casañola, Y. T., Estrada, C. A. F., & León-Rodríguez, G. (2014). Modelo Si. MPS. CU para valorar las organizaciones al iniciar la mejora de proceso de software. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 8, 92–103.
- Denning, P. J., Tedre, M., & Yongpradit, P. (2017). Misconceptions about computer science. *Communications of the ACM*, 60(3), 31–33.

- Gómez, L., Aduna, A., García, E., Cisneros, A., & Padilla, J. (2004). Manual de estilos de aprendizaje. *Material Autoinstruccional Para Docentes y Orientadores Educativos* (pp. 22-29). México: Secretaría de Educación Pública. Subsecretaría de Educación Media Superior. Dirección General Del Bachillerato. Dirección de Coordinación Académica.
- Larrucea, X., O'Connor, R. V, Colomo-Palacios, R., & Laporte, C. Y. (2016). Software process improvement in very small organizations. *IEEE Software*, 33(2), 85–89.
- Pripužić, K., Žarko, I. P., Podobnik, V., Lovrek, I., Čavka, M., Petković, I., ... Gojčeta, M. (2013). Building an IPTV VoD recommender system: An experience report. In *12th International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, 2013 (pp. 155–162).
- Puello, J. de J. J., Feliu, T. S., & Calvo-Manzano, J. A. (2016). Una aproximación basada en metamodelado del área de proceso de Validación del CMMI: Un caso de estudio. *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (17), 26–40.
- Pulla, N., Limaye, U., & Yajnik, S. (2016). Can you find a way to define Computer Science? *Revista Antioqueña de Las Ciencias Computacionales*, 6(2).
- Sanchez-Gordon, M.-L., de Amescua, A., O'Connor, R. V, & Larrucea, X. (2017). A standard-based framework to integrate software work in small settings. *Computer Standards & Interfaces*, 54, 162–175.

Índice / Index

EDITORIAL

El impacto de las Ciencias de la Computación en el mundo real	ix
<i>Gloria Piedad Gasca-Hurtado, Liliana Machuca-Villegas</i>	

ARTIGOS / ARTICULOS / ARTICLES

Estudio sobre Estilos de Aprendizaje mediante Minería de Datos como apoyo a la Gestión Académica en Instituciones Educativas.....	1
<i>Ana Isabel Oviedo Carrascal, Gabriel Almendrales Jiménez</i>	
Guía de Aplicación del Modelo de DeLone y McLean para la Evaluación de Productos de Software	14
<i>Vianca Vega-Zepeda, Aldo Quelopana, Carolina Flores, Alejandro Munizaga</i>	
Factores Humanos y la Mejora de Procesos de Software. Propuesta inicial de un catálogo que guíe su gestión	30
<i>Nelson Morales-Aguilar, Vianca Vega-Zepeda</i>	
Implementación del Estándar ISO/IEC 29110 en Centros de Desarrollo de Software de Universidades Mexicanas: Experiencia del Estado de Zacatecas	43
<i>Mirna Muñoz, Jezreel Mejia, Claude Y Laporte</i>	
Arquitectura basada en contexto para el soporte del servicio de VoD	55
<i>Gabriel E. Chanchí G., Wilmar Y. Campo M., Jose L. Arciniegas H.</i>	
Diseño de un Control Regulador para un Sistema de Servo-Posicionamiento Neumático	72
<i>Iván Ramírez, Christopher Toro, Jonathan Diaz</i>	

Estudio sobre Estilos de Aprendizaje mediante Minería de Datos como apoyo a la Gestión Académica en Instituciones Educativas

Ana Isabel Oviedo Carrascal ¹, Gabriel Almendrales Jiménez ¹

ana.oviedo@upb.edu.co, a.j.gabetto@gmail.com

Facultad de Ingeniería en TIC, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 050004 Medellín, Colombia

DOI: 10.17013/risti.29.1-13

Resumen: Los estilos de aprendizaje son las estrategias que utiliza un individuo para adquirir conocimiento, su análisis permite a las instituciones educativas mejorar los ambientes de aprendizaje, los cuales comúnmente dependen de condiciones biológicas, psicológicas, ambientales, escolares y de comunidad. En este trabajo se realiza un estudio sobre estilos de aprendizaje aplicando técnicas de minería de datos a la información derivada de la aplicación de dos test llamados VARK y CHAEA a los estudiantes de la Institución Educativa Joaquín Cárdenas Gómez del Municipio de San Carlos – Antioquia (Colombia). Como resultado de este estudio, se genera un plan de apoyo a la gestión directiva con la identificación de factores que afectan el aprendizaje. Entre los hallazgos se tiene que los estilos de aprendizaje por sí solos no influyen en la repitencia, requiere de la combinación de otros elementos como la edad y tener más de un estilo de aprendizaje.

Palabras-clave: Estilos de aprendizaje; Minería de datos; Inteligencia analítica educativa.

Study on Learning Styles by Data Mining as support for Academic Management in Educational Institutions

Abstract: Learning styles are the strategies used by a student to acquire knowledge, their analysis allows educational institutions to improve learning environments, which commonly depend on biological, psychological, environmental, school and community conditions. This paper presents a study on learning styles applying data mining techniques to the information derived from the application of two tests called VARK and CHAEA to the students of the Educational Institution “Joaquín Cárdenas Gómez” of the Municipality of San Carlos - Antioquia (Colombia). This work formulates a plan of support for the Management Directive with the list of factors that influence learning. The findings indicate that learning styles alone do not influence school failure, require the combination of other elements such as age and have more than one learning style.

Keywords: Learning styles; Data mining; educational analytic.

1. Introducción

Un estilo de aprendizaje se entiende como la identificación a partir de rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos que manifiesta un individuo al momento de interactuar o la forma de responder al ambiente de aprendizaje (Gómez, Aduna, García, Cisneros, & Padilla, 2004). En el contexto de la educación colombiana, la identificación de estilos de aprendizaje se orienta a las áreas de conocimiento como la psicología, pedagogía, sociología, cuyos mecanismos de validación son métodos estadísticos tanto en casos de investigaciones cuantitativas, como en los estudios centrados en la descripción de variables cualitativas (Tamayo, 1999). Las universidades en su afán de mantener su cobertura y conservar en su alma mater a sus estudiantes, han iniciado esfuerzos para profundizar en este campo y ofrecer condiciones acordes a las necesidades.

En la literatura se encuentran diversos estudios que varían en relación a las técnicas de minería de datos, a la elaboración de modelos, a la población, a las formas de adquirir los datos y a la aplicación de test de identificación de estilos de aprendizaje. Los objetivos más comunes en los estudios son el análisis de la deserción y el fracaso escolar en la formación superior mediante la aplicación de algoritmos de agrupamiento y de predicción (Puello & Fernández, 2013) (Scheuer & McLaren, 2012) (Vera, Morales, & Soto, 2012) (Valía, et al., 2017) (Carmona, Vergara, Oviedo, Amon, & Vélez, 2018).

El objeto de estudio del presente análisis es una institución educativa oficial cuyo fracaso escolar está determinado por un 14,5%, sobre el total de 1660 estudiantes. Uno de los puntos críticos causante del fracaso escolar en la institución es el desconocimiento de los estilos de aprendizajes empleados por los estudiantes en sus actividades académicas, ocasionando el desarrollo de estrategias de enseñanza inapropiadas y conduciendo a una sucesión de consecuencias como: 1) la apatía y falta de interés por parte del educando; 2) atender inapropiadamente los problemas o barreras de aprendizaje, se registran 125 casos en el informe institucional dirigido al Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (Institución Educativa Joaquín Cárdenas Gómez, 2014); 3) la repetencia de años escolares por la baja comprensión de temáticas.

Para enfrentar esta situación, en este trabajo se aplican dos instrumentos de identificación de estilos de aprendizaje, cuyos resultados se utilizan como insumo para un estudio analítico mediante diversas técnicas de minería de datos. Finalmente, los resultados del modelado analítico son utilizados para apoyar la gestión directiva en la Institución.

2. Materiales y Métodos

La metodología utilizada en el estudio es CRISP-DM, cuyo acrónimo en inglés significa *CRoss-Industry Standard Process for Data Mining*, la cual consiste en una guía de referencia de circulación libre, producto de la determinación de un consorcio de empresas europeas dedicadas al descubrimiento de conocimiento. Esta metodología es destacada por su rigurosidad y completitud a través de 6 fases: entendimiento del negocio, entendimiento de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implantación (Chapman, et al., 2000). La metodología ha sido aplicada para el análisis de datos en múltiples áreas (Oviedo & Vélez, 2017).

2.1. Entendimiento del Negocio

El presente estudio parte de adquirir la información necesaria para afrontar situaciones críticas que afectan la misión institucional la cual consiste en la formación integral de los educandos, de allí el anhelo de identificar los estilos de aprendizaje de los estudiantes para establecer su relación con el rendimiento académico e identificar otras características y comportamientos en el momento de apropiarse del conocimiento impartido. La meta es contribuir a la gestión directiva con la identificación de factores que afectan el aprendizaje de los estudiantes de la institución educativa Joaquín Cárdenas Gómez, ubicada en el Municipio de San Carlos – Antioquia, Colombia.

2.2. Entendimiento de los Datos

La búsqueda y recolección de los datos parte de la aplicación de dos modelos de estilos de aprendizaje: el modelo de estilos de aprendizaje de VARK denominado así por sus siglas en ingles de visual, auditivo, read/write y kinestésico es un modelo cuyas variables definen la forma de percibir el conocimiento por parte del aprendiz desde un enfoque sensorial (Fleming & Baume, 2006).

El segundo modelo amplía un poco más la identificación de los perfiles de aprendizaje al utilizar variables orientadas a la parte aptitudinal del individuo, este modelo se conoce como CHAEA, el cual se define en cuatro categorías: activo, pragmático, teórico y reflexivo, en este concepto se identifica la postura que asume el estudiante para asimilar la información (Freiburg & Fernández, 2013).

Adicional a los modelos de estilos de aprendizaje, se extraen las notas de los estudiantes del sistema PACSIS que opera en la institución educativa, consultando los registros de notas relacionadas a las áreas de lengua castellana, matemáticas y tecnología. Finalmente, para completar la tabla de datos los estudiantes diligenciaron un formato con preguntas personales para poder asociar patrones de comportamientos.

2.3. Preparación de los Datos

Esta fase consiste en aplicar controles de calidad por lo que se depuraron los datos con aplicación de técnicas estadísticas con ayuda del software WEKA y el perfilamiento de los datos con el software DQ_ANALIZER. El resultado es una tabla con 231 registros y 9 atributos. La preparación consiste en adaptar los datos para el modelado de minería, según las técnicas a desarrollar.

En el proceso de adquisición de datos sobre los estudiantes se presentaron los siguientes inconvenientes: en primer lugar, la ausencia de un sistema de registro y control de datos articulado y en segundo lugar contar con datos completos y en formato digital. Para solventar esta situación, fue necesario crear unos instrumentos de captura para recolectar los datos, se combinaron datos personales y los dos cuestionarios para identificar estilos de aprendizaje basado en dos modelos, el modelo VARK y el modelo CHAEA. A este conjunto de datos se le adicionaron los registros de notas extraídos del sistema de registro de notas de la institución.

Por inconvenientes a la hora de registrar los datos socioeconómicos, los cuales debieron ser suministrados por los acudientes, no fueron coherentes y de regular calidad a pesar de que

el cuestionario era sencillo, pero por situaciones como el analfabetismo, núcleos familiares atípicos, la inasistencia a reuniones y falta de compromiso del acudiente, el recaudo de estos datos se volvió tedioso, por lo que se excluyeron para seguir adelante con el análisis.

2.4. Modelamiento Analítico

La analítica de datos permite realizar básicamente tres tipos de análisis: descriptivo, predictivo y prescriptivo. El análisis descriptivo permite descubrir conocimiento oculto en un conjunto de datos mediante agrupaciones, reglas de asociación y selección de factores. El análisis predictivo permite predecir acciones futuras mediante el análisis de un histórico de datos. Finalmente, el análisis prescriptivo permite simular escenarios para optimizar resultados. Estos análisis son desarrollados por medio de técnicas de aprendizaje de máquinas y técnicas estadísticas (Lino et al., 2017) (Oviedo, Oviedo, & Vélez, 2015).

En este trabajo, en la fase de modelamiento se realizaron 9 experimentos, donde cada uno tiene un objetivo en particular, pero que en asocio permiten descubrir patrones de comportamientos de los estudiantes frente al aprendizaje y sus resultados académicos. Los experimentos desarrollados son de tipo descriptivo y predictivo, los cuales son:

- Análisis de perfiles de estudiantes aplicando el algoritmo K-means.
- Identificación de factores que influyen en el estilo de aprendizaje según el modelo VARK por medio de un sistema de votación de los métodos: correlaciones, árbol de decisión, regresión logística y análisis de componentes principales.
- Identificación de factores que influyen en el estilo de aprendizaje según el modelo CHAEA por medio del sistema de votación planteado anteriormente.
- Análisis de la relación entre los modelos de estilos de aprendizaje VARK y CHAEA por medio del algoritmo de reglas de asociación Apriori.
- Relación de las áreas con el modelo de aprendizaje VARK por medio del algoritmo Apriori.
- Relación de las áreas con el modelo de aprendizaje CHAEA por medio del algoritmo Apriori.
- Influencia de los estilos de aprendizaje en la repitencia por medio del algoritmo Apriori.
- Otros factores de influencia en la repitencia por medio del algoritmo de reglas de asociación Apriori.
- Predicción de riesgo de repitencia con la aplicación de un árbol de decisión.

2.5. Evaluación

Cada modelo es sometido a un proceso de evaluación que garantice la confiabilidad de los resultados. En los experimentos se aplican análisis descriptivos y predictivos. Los primeros son evaluados con medidas que indican la cohesión de los grupos y la confianza de las reglas de asociación. Por su parte, el modelo predictivo es evaluado según la precisión y cobertura de las predicciones.

2.6. Implantación o Despliegue

El estudio genera unos resultados que se convierten en indicadores para que el comité de Gestión Directiva plantee estrategias de apoyo académico, de igual forma este

proceso motiva a profundizar en estudios analíticos y fomentar una cultura en torno a la gobernabilidad de los datos.

3. Resultados

A continuación, se realiza el despliegue de los resultados obtenidos de los modelos analíticos. Es un análisis desde los diversos campos de acción relacionados al proyecto iniciando por los estilos de aprendizaje, áreas académicas, repitencia y por último la gestión directiva.

3.1. Perfilamiento de Estudiantes

El primer experimento descubre los tipos de estudiantes de la institución educativa a partir de los estilos de aprendizaje y el desempeño académico como se presenta en la Figura 1.

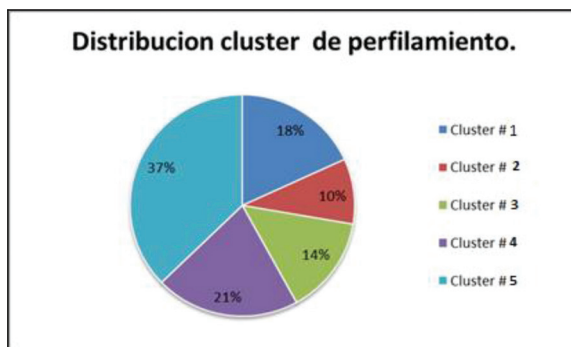


Figura 1 –Perfilamiento de los estudiantesa

El clúster #1 presenta un porcentaje de 18%, son estudiantes con notas de 4.0 a 4.5, con tendencias al aprendizaje reflexivo en el modelo CHAEA y en el modelo VARK el estilo es multi_estilo. Un nombre adecuado para este grupo es “Estudiantes con desempeño alto”.

El clúster #2 representado con un 10%, los integrantes de este grupo aprenden aplicando el estilo de lectura/escritura del modelo VARK y el estilo teórico del modelo CHAEA estableciendo una relación coherente entre los dos modelos. Es el grupo que contiene mayor número de repitentes, 72% de total de integrantes dentro del grupo. Un nombre adecuado para este grupo es “Estudiantes repitentes”.

El clúster #3 comprende estudiantes de aprendizaje auditivo (VARK) y pragmático (CHAEA), en el registro de notas el rango es muy equitativo entre las tres áreas matemáticas, lengua castellana y tecnología. Este grupo puede ser llamado “Estudiantes auditivos y pragmáticos”.

El clúster #4 son estudiantes cuyo desempeño es de nivel básico con deficiencias en las áreas matemáticas y tecnologías. Su estilo de aprendizaje en VARK es el auditivo y en el modelo CHAEA se evidencia más de un estilo de aprendizaje (Multi_estilos-CHAEA).

El porcentaje de repitencia de este grupo es menor del 12%. El nombre asignado a este grupo es “Estudiantes de desempeño básico”.

El clúster #5: Estudiantes con alto rendimiento los promedios de notas de las tres áreas indican que tienen un buen desempeño se caracterizan por tener un estilo kinestésico para el modelo VARK y un porcentaje de 57% en estilo reflexivo del modelo CHAEA. Este grupo es identificado como “Estudiantes con alto desempeño”.

3.2. Factores de Influencia en Modelo de Aprendizaje VARK

El segundo experimento está orientado a descubrir los factores que más influyen en la identificación del estilo de aprendizaje según el instrumento de VARK por medio de un sistema de votación de 4 métodos: correlaciones, árbol de decisión, regresión logística y análisis de componentes principales como se presenta en la Figura 2.

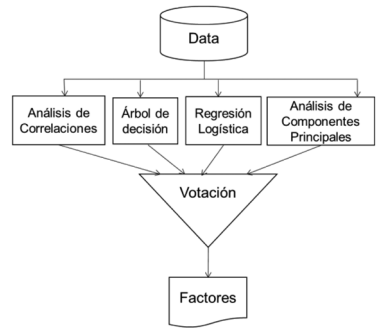


Figura 2 – Sistema de votación para descubrir los factores que influyen en el estilo de aprendizaje

El resultado encontrado indica que la nota final de matemáticas y nota final de lengua castellana son los factores más influyentes al momento de definir los estilos de aprendizaje de los estudiantes, la razón es que estas variables presentan mayor frecuencia en el conjunto de métodos aplicados, como se puede ver en la Tabla 1.

Variables	Análisis de Correlación	Árbol de Decisión	Regresión Logística	Análisis de Comp. Principal	Total
EDAD		X	X		2
GENERO			X	X	2
GRADO 8°		X		X	2
GRADO 9°		X	X		2
GRADO 10°		X			1
GRADO 11°	X	X			2
REPITENCIA					0
NOTA_FIN_LEN_CAST	X	X	X		3
NOTA_FIN_MATEMA	X	X		X	3
NOTA_FIN_TECNO	X			X	2

Tabla 1 – Consolidado de resultados experimento N°2 factores que influyen en el modelo VARK

3.3. Factores de Influencia en Modelo de Aprendizaje CHAEA

El tercer experimento es para identificar los factores que más influyen en la identificación del estilo de aprendizaje según el instrumento CHAEA, mediante el sistema de votación planteado en la Figura 2. En la Tabla 2 se identifican las variables de nota final de lengua castellana, nota final de matemáticas, nota final de tecnología y género como los factores que están presentes al momento de definir un estilo de aprendizaje.

Variables	Análisis de Correlación	Árbol de Decisión	Regresión Logística	Análisis de Comp. Principal	Total
EDAD		X			1
GENERO	X	X		X	3
GRADO 8º		X		X	2
GRADO 9º		X			1
GRADO 10º		X	X		2
GRADO 11º		X			1
REPITENCIA					0
NOTA_FIN_LEN_CAST	X	X	X		3
NOTA_FIN_MATEMA	X		X	X	3
NOTA_FIN_TECNO	X		X	X	3

Tabla 2 – Consolidado de resultados experimento N°3 factores que influyen en el modelo CHAEA.

3.4. Asociaciones entre los Modelos VARK y CHAEA

Hasta esta etapa los experimentos buscan caracterizaciones generales que permiten contextualizar los resultados obtenidos. Con este experimento se inicia una serie de indagaciones que examinan las relaciones existentes entre variables, para este caso se buscan las asociaciones entre los dos modelos de estilos de aprendizaje aplicados al estudio. El método aplicado es el Apriori arrojando como resultado que los estilos asociados directamente son auditivo (VARK) con el reflexivo (CHAEA), una segunda asociación es estilo kinestésico (VARK) con el reflexivo de (CHAEA).

3.5. Relación de las Áreas con el Modelo de Aprendizaje VARK

El quinto experimento muestra cómo las variables del modelo VARK se asocian con las áreas. Se parte de que las relaciones son positivas con relación al desempeño académico (ganan el curso).

Mediante la aplicación del algoritmo Apriori se encuentra que el estilo kinestésico se relaciona con las áreas de lengua castellana, matemáticas y tecnología, donde el estudiante aprende con acciones que involucran movimientos, la manipulación de objetos, dinámicas grupales y actividades donde el estudiante sea protagonista.

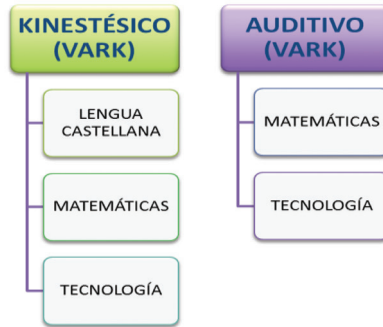


Figura 3 – Relaciones de las áreas con el modelo VARK

En la segunda asociación solo las áreas de matemáticas y tecnología comparten el estilo auditivo de VARK. En esta relación el estudiante adquiere el conocimiento por medio de instrucciones y participaciones orales y lecturas en voz alta.

3.6.Relación de las Áreas con el Modelo de Aprendizaje CHAEA

Para descubrir las relaciones de asocio de las áreas con el modelo de CHAEA se implementó el método Apriori. El resultado obtenido se representa en la Figura 4, donde se presentan las asociaciones que generan desempeño positivo en el rendimiento académico.

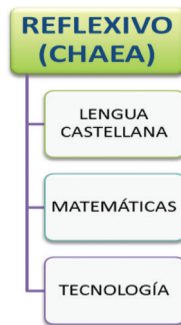


Figura 4 –Relaciones de las áreas con el modelo CHAEA

Para este caso las áreas de lengua castellana, matemáticas y tecnología el estudiante aprende reflexionando sobre el objeto de aprendizaje, requiere del espacio y tiempo.

3.7.Influencia de los Estilos de Aprendizaje en la Repitencia

Para conocer la influencia de los estilos de aprendizaje en la repitencia se aplicó nuevamente el método Apriori. El resultado obtenido en las reglas de asociación indica que los estilos de aprendizaje no influyen por sí solos en la repitencia.

3.8. Otros Factores de Influencia en la Repitencia

Para encontrar reglas de asociación que indiquen los factores que influyen en la repitencia, se usaron variables adicionales a los estilos de aprendizaje. Con el algoritmo Apriori se encontró que el estilo reflexivo (CHAEA) en asocio de otras características como el género masculino y en edades comprendidas entre los 14 y 17 años de edad influyen para que un estudiante repita el año escolar.

Esta descripción proporciona un diagnóstico para actuar directamente sobre el grupo de estudiantes ejecutando estrategias y acciones de forma oportuna.

3.9. Predicción de Riesgos de Repitencia

Para precisar las características que presentan los estudiantes en riesgo de repitencia, se aplicó un método de árbol de decisión, cuyo resultado se presenta en la Figura 5. Al seguir las bifurcaciones decisorias se especifica los atributos que definen quienes presentan este riesgo.

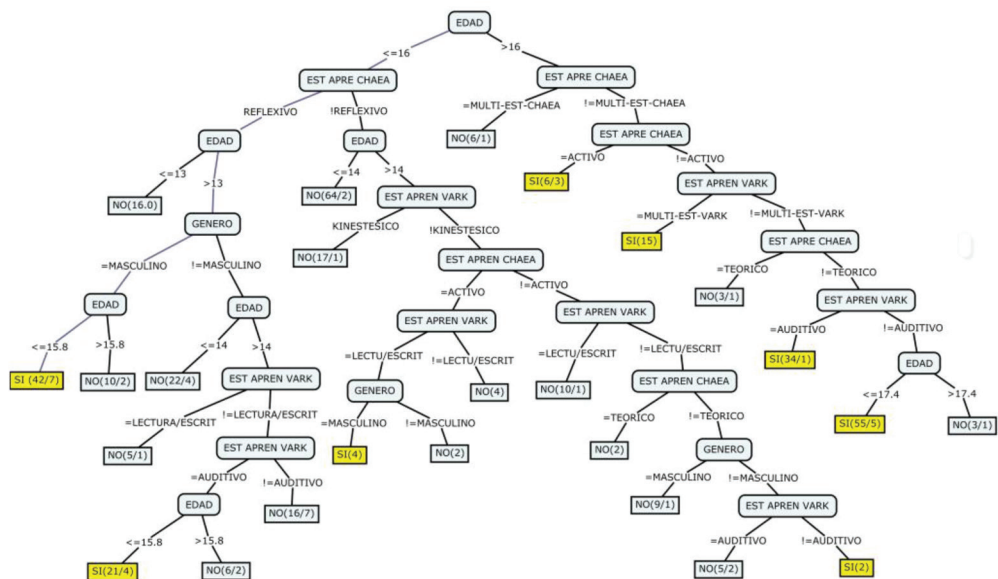


Figura 5 – Árbol de decisión para predecir riesgos de repitencia

Los estudiantes en riesgo de repitencia son los que están entre las edades igual o mayor de 14 años en ambos géneros, los estilos de aprendizaje que declaran son el reflexivo (CHAEA) combinado con el auditivo (VARK).

Un conjunto de características para identificar riesgo de repitencia es el género femenino con manifestaciones de estilos pragmático (CHAEA) y el visual (VARK), mientras otro grupo de características son el género masculino con estilos de aprendizaje activo

(CHAEA) y lectura/escritura (VARK). Cuando la enseñanza no se acomoda a estas necesidades es cuando se activan los factores de riesgo de repitencia.

En el árbol se encuentra como riesgo de repitencia los estudiantes en edades igual o mayor de 14 años, involucra ambos géneros, de estilos de aprendizaje reflexivo (CHAEA) combinado con el auditivo (VARK).

4. Discusión

Se identificó una necesidad latente en la Institución Educativa Joaquín Cárdenas Gómez de carácter oficial, cuya gestión directiva plantea entre sus metas el mejoramiento de calidad educativa. Para la generación del insumo para la planeación estratégica en pro de las metas, se identificó el contexto de la organización y vocación de servicio, los cuales brindaron el soporte para generar los objetivos propios del estudio bajo la definición de la metodología CRISP-DM.

4.1. Sobre los Estilos de Aprendizaje

Los estilos de aprendizaje aplicados en el proyecto corresponden a dos modelos: el primero corresponde al VARK cuyos componentes aluden a los canales de percepción y recepción de la enseñanza por parte del individuo. Estos medios sensoriales son el visual, auditivo, lectura/escritura y el kinestésico. El segundo modelo por el contrario representa las aptitudes frente al aprendizaje, hace referencia al modelo CHAEA, este modelo cuenta con cuatro estilos particulares activo, reflexivo, teórico y pragmático. Para ambos modelos se adiciona una quinta variable con el objetivo de ubicar a los estudiantes que en los instrumentos aplicados tenían valores equivalentes en dos o más estilos, lo que impedía ubicarlos en uno solo, estas variables se llamaron `multi_estilos_vark` y `multi_estilos_chaea`.

En el modelado de minería de datos se identificaron los factores que intervienen en los estilos de aprendizaje, esto permite conocer la relación de las características de los estudiantes con el comportamiento a la hora de aprender. Los factores que más influyen en el modelo de VARK son la nota final de lengua castellana y la nota final de matemáticas. Por otro lado, los factores que más influyen en el modelo CHAEA son: género, nota final lengua castellana, nota final matemáticas y nota final tecnología.

En los resultados también se descubrieron relaciones entre los dos modelos VARK y CHAEA:

El estilo auditivo de VARK se asocia directamente con el estilo reflexivo de CHAEA. La tendencia de los estudiantes al momento del aprendizaje es recibir el contenido de la enseñanza de forma auditiva, requieren escuchar las orientaciones, instrucciones y demás contenidos programados por parte del docente, al igual que necesitan un tiempo para meditar y pensar las acciones o expresiones a manifestar.

El estilo Kinestésico del modelo VARK se asocia con el estilo Reflexivo de CHAEA. En este caso el estudiante aprende directamente de la experiencia y la participación explorando el entorno con la interacción y es hábil con actividades motoras, además demuestra el desarrollo de destrezas finas o gruesas. Pero también requiere su tiempo para aprender

cómo lo describe el aprendizaje reflexivo. En esta relación se deduce que el estudiante reflexiona sobre sus actos.

4.2. Sobre las Áreas Académicas

Para las áreas académicas involucradas en el estudio y la relación con los estilos de aprendizaje definidos en el modelo VARK se llega a los siguientes resultados:

El estilo dominante en los estudiantes que tiene un desempeño positivo (ganan el curso) en las áreas de matemáticas, lengua castellana y tecnología es el estilo kinestésico. Este estilo declara que el estudiante de este segmento asocia el conocimiento impartido con sensaciones y movimientos, su aprendizaje es lento, pero una vez apropiado lo conserva y profundizan, pero no compaginan muy bien cuando la información es impartida de forma visual. Esta situación repercute en el desempeño de los estudiantes porque no alcanza el nivel óptimo que es el superior, aunque su promedio de notas es de 3.23, indica un desempeño básico.

Una segunda segmentación la constituyen las áreas matemáticas y tecnología. En este par de asignaturas los estudiantes con desempeño positivo exponen un estilo de aprendizaje auditivo. Este conjunto de estudiantes, trabajan mejor cuando escuchan los contenidos o instrucciones para lograr el aprendizaje, de ahí el hecho, de que muchos susurran lo que leen para transformar la percepción lecto/escritora en auditiva.

Respecto al modelo CHAEA, se encuentra que el desempeño positivo en las áreas de matemáticas, lengua castellana y tecnología está asociado al estilo reflexivo. Este grupo de estudiantes asimilan las instrucciones y los contenidos de forma pausada, se toman el tiempo para pensar e imaginar las acciones a realizar. No se expresan con facilidad y les toma tiempo, lo que dificulta al docente percibir las necesidades de afianzar lo aprendido.

4.3. Sobre la Repitencia

Para prevenir la repitencia se requiere conocer las características de los estudiantes con esta problemática e identificar cuáles son las condiciones de riesgo para prevenir a futuro esta situación, si se conoce de antemano las características de dichos estudiantes, esta información se convierte en una fortaleza para la planeación estratégica de la gestión directiva.

En los resultados de este estudio se encontró que los estilos de aprendizaje por si solos NO tienen influencia en la repitencia de los estudiantes. Sin embargo, se encontró que los estilos de aprendizaje en asocio con otros factores sí influyen en dicha situación. La regla más relevante indica que el género masculino es un factor relevante, limitando a aquellos estudiantes que tiene la edad entre 14 y 17 años y específicamente los que definen un estilo de aprendizaje reflexivo según el modelo CHAEA.

Frente a esta situación es importante monitorear la relación de la edad del estudiante respecto al grado escolar, donde pueden entrar a influir elementos como el desarrollo cerebral, problemas de salud, comportamientos e intereses particulares, entre otros. Sumado a esto, si el estudiante evidencia un aprendizaje reflexivo y el docente no utiliza las técnicas de enseñanza apropiadas, no se van a obtener resultados satisfactorios.

Iguales situaciones tienen los estudiantes que evidencian varios estilos a la hora de aprender, tanto los que demuestran ser multi_estilos_chae, como los que son multi_estilo_vark. Esta situación conduce a deducir que los estudiantes no son capaces de identificar su estilo de aprendizaje, por lo cual le es difícil acomodarse a los procesos de enseñanza/aprendizaje.

4.4. Apoyo a la Gestión Académica

Como ente de direccionamiento, los miembros de la gestión directiva deben conocer los elementos que intervienen en la dinámica organizacional y los miembros de la comunidad a la cual prestan el servicio educativo. Por tal motivo plantean estrategias para alcanzar las metas institucionales, las cuales evaluadas anualmente contribuyen al mejoramiento institucional.

Los resultados obtenidos descubren patrones de comportamiento de los estudiantes a partir de un soporte teórico y práctico para ofrecer oportunidades de mejorar la didáctica de la enseñanza. Conocidos los estilos de aprendizaje de los estudiantes es necesario realizar ajustes en la planificación curricular (tiempo, contenidos y evaluaciones) e inclusive organizar los grupos según los patrones de comportamiento encontrados.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un estudio sobre estilos de aprendizaje mediante minería de datos como apoyo a la gestión académica de la Institución Educativa Joaquín Cárdenas Gómez del Municipio de San Carlos (Antioquia, Colombia). Los experimentos desarrollados en el presente estudio dotan a la gestión directiva de la institución de los siguientes indicadores:

Tipos de estudiantes teniendo en cuenta el estilo de aprendizaje.

Factores que intervienen en la identificación de los estilos de aprendizaje según el cuestionario del modelo de estilos de aprendizaje de VARK y el modelo de estilos de aprendizaje de CHAEA.

Asociaciones existentes entre los dos modelos de estilos de aprendizaje aplicados al estudio. A igual que las relaciones existentes entre las áreas de conocimiento y cada uno de los modelos.

De la repitencia se identifican las características de los estudiantes con riesgo de repitencia.

Queda abierta la gama de opciones de estudios aplicando técnicas de minería de datos a nivel de las instituciones educativas de básica secundaria, debido a que la mayoría de referentes se remiten a estudios de educación superior. Para ello es necesario promover la cultura del valor de la calidad de datos en las organizaciones y su gestión para utilizar en futuros estudios.

Como trabajo futuro se propone la creación de nuevos análisis de datos de tipo prescriptivo que permitan diseñar y evaluar escenarios de acción frente a los hallazgos de este trabajo.

Referencias

- Carmona, C., Vergara, C., Oviedo, A., Amon, I., & Vélez, G. (2018). Minería de datos y estilos de aprendizaje: una aproximación interdisciplinaria en educación superior. *En X Conferencia Internacional de Ambientes Virtuales de Aprendizaje Adaptativos y Accesibles*, Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., & Wirth, R. (2000). *CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide*. Editorial SPSS.
- Institución Educativa Joaquín Cárdenas Gómez. (2014). Formulario C-600 B - Formulario censal presentado al Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Disponible en la Secretaría Académica de la Institución Educativa Joaquín Cárdenas Gómez, San Carlos, Antioquia, Colombia.
- Fleming, N., & Baume, D. (2006). Learning Styles Again: VARKing up the right tree!. *Educational developments*, 7(4), 4-7.
- Freibirg, A., & Fernández, M. (2013). Cuestionario Honey-Alonso de estilos de aprendizaje: Análisis de sus propiedades psicométricas en estudiantes universitarios. *Summa psicológica UST*, 10(1), 103-117. DOI: 10.18774/448x.2013.10.41
- Gómez, L., Aduna, A., García, E., Cisneros, A., & Padilla, J. (2004). Manual de estilos de aprendizaje. *Material Autoinstruccional Para Docentes y Orientadores Educativos* (pp. 22-29). México: Secretaría de Educación Pública. Subsecretaría de Educación Media Superior. Dirección General Del Bachillerato. Dirección de Coordinación Académica.
- Lino, A., Rocha, Á., & Sizo, A. (2017). Virtual teaching and learning environments: automatic evaluation with artificial neural networks. *Cluster Computing*, 1-11.
- Oviedo, E., Oviedo, A., & Vélez, G. (2015). Minería de datos: aportes y tendencias en el servicio de salud de ciudades inteligentes. *Revista Politécnica*, 11(20), 111-120.
- Oviedo, A., & Vélez, G. (2017). Ciencia de datos: apoyando la toma de decisiones en una ciudad inteligente. En B. Manrique (2017). *Industria 4.0 Escenarios e Impacto* (pp. 205-218). Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Medellín.
- Puello, D. & Fernández, M. (2013). Sistema para la detección de estilos de aprendizaje. *I+D Revista de Investigaciones*, 1(2), 42-49.
- Scheuer, O., & McLaren, B. (2012). Educational data mining. En *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 1075-1079). Boston: Springer.
- Tamayo, M. (1999). *Aprender a Investigar. Serie aprender a investigar*. Sta. Fe de Bogotá: ICFES.
- Valía, L., Rostagno, J., Moine, J. M., Bigatti, C., Riva, F. M., & Amar, E. (2017). Minería de datos aplicada a la educación: modelo de deserción universitaria en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario. En *XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Buenos Aires, Argentina.
- Vera, C., Morales, C., & Soto, S. (2012). Predicción del fracaso escolar mediante técnicas de minería de datos. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del/da Aprendizaje/ Aprendizagem*, 109.

Guía de Aplicación del Modelo de DeLone y McLean para la Evaluación de Productos de Software

Vianca Vega-Zepeda ¹, Aldo Quelopana ¹, Carolina Flores¹, Alejandro Munizaga¹

vvega@ucn.cl, aldo.quelopana@ucn.cl, cfbo07@alumnos.ucn.cl, amv001@alumnos.ucn.cl

¹ Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Católica del Norte, Av. Angamos 0610, 1270709, Antofagasta, Chile.

DOI: 10.17013/risti.29.14-29

Resumen: En el año 1992 DeLone & McLean (D&M) definieron por medio de un modelo de medida multidimensional, qué es el éxito de un SI y sus correspondientes medidas, clasificándolas en seis categorías interdependientes. Considerando que los pequeños entornos generalmente no cuentan con personal especializado en este tipo de temas, en este trabajo se propone una guía que facilita la aplicación del modelo de D&M para la evaluación de productos de software para pequeños entornos. El principal aporte de esta guía radica en la definición de pasos y en el catálogo de preguntas pre-establecidas para que un pequeño entorno, sin poseer conocimientos acabados en el modelo, pueda rápidamente preparar los instrumentos necesarios para su aplicación. Esta guía fue aplicada en una empresa, demostrando su utilidad para ayudar a los pequeños entornos en la evaluación de los productos de software que dan soporte a sus procesos de negocio.

Palabras-clave: Modelo DeLone y McLean; Evaluación de Producto de Software.

Application Guide for the Evaluation of Software Products based on the DeLone and McLean Model of Success

Abstract: In 1992 DeLone & McLean defined a model of Information Systems Success which includes six interdependent categories. Considering that small-environment software developments usually do not have specialized personnel in this type of topic, this paper proposes a guide that facilitates the application of the D&M model for the evaluation of software products. The main contribution of this guideline lies on the definition of steps and on the catalog of pre-established questions which helps small-environment software developments quickly prepare the necessary instruments for its application. This guide was applied in a firm, demonstrating its utility to this type of environments in the evaluation of software products that support their business processes.

Keywords: D&M Model; Evaluation of Software Product.

1. Introducción

El avance informático en la actualidad ha sido muy alto en términos de desarrollo de software, en especial en el ámbito de nuevas herramientas para acelerar los procesos de desarrollo. Sin embargo, estas ventajas que se obtienen gracias a estos avances, en ocasiones han influido en el descuido de la calidad del producto que es entregado, la cual no es solamente la calidad gráfica, o la calidad de respuesta, sino se debe tener en cuenta otras cualidades para afirmar que un software es integral y de calidad, y que es realmente útil y considerado exitoso dentro del ambiente en el que se utiliza. Como indican (Jiménez Puello, San Feliú, & Calvo-Manzano, 2016) en la actualidad la calidad es el atributo que tiene mayor relevancia en la determinación de si un producto de software es exitoso.

Se entiende por calidad del software al grado con el que un sistema, componente o proceso cumple con los requisitos especificados y las necesidades o expectativas del cliente o usuario (Geraci, Katki, McMonegal, Meyer, & Porteous, 1991). Sin embargo, si bien la calidad de un software es un aspecto importante que influye en el éxito del producto, no es el único factor a considerar.

Desde hace décadas se ha utilizado como una herramienta para la evaluación de sistemas de información (SI) el Modelo de DeLone y McLean (D&M) (DeLone & McLean, 2003).

Para proveer una definición general y comprensiva del éxito de un SI que cubra las diferentes perspectivas de evaluación, en el año 1992 D&M realizaron las definiciones existentes del éxito de un SI y sus correspondientes medidas y las clasificaron en seis grandes categorías. Así, ellos crearon un modelo de medida multidimensional con interdependencias entre las diferentes categorías de éxito.

Diez años después de la publicación del primer modelo y basado en la evaluación de las muchas contribuciones al mismo, D&M propusieron una actualización al modelo de éxito de los SI (DeLone & McLean, 2003).

El modelo actualizado consiste en seis dimensiones interrelacionadas del modelo del éxito de un SI. En la Figura 1 se puede ver el modelo actualizado del éxito de los SI de D&M. El modelo puede ser interpretado como sigue: un sistema puede ser evaluado en términos de calidad de información, calidad de sistema y calidad de servicio; estas características afectan el uso subsecuente o intención de uso y su satisfacción de usuario. Como un resultado de usar el sistema, ciertos beneficios van a ser alcanzados. Los beneficios netos influenciarán (positiva o negativamente) la satisfacción de usuario y el uso del SI a futuro (DeLone & McLean, 2003).

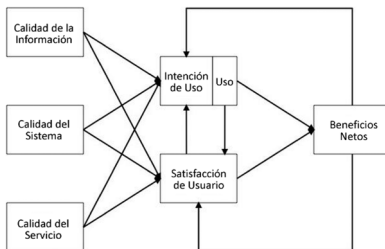


Figura 1 - Modelo actualizado del éxito de los SI de D&M (DeLone & McLean, 2003)

En este trabajo se propone una guía que facilite la aplicación del modelo de D&M para la evaluación de productos de software en pequeños entornos. Este tipo de organizaciones, rara vez cuenta con personal especializado o con los conocimientos necesarios para realizar una evaluación de sus productos, por lo cual, contar con una guía detallada que indique los pasos a seguir y que además provee un conjunto de preguntas pre-establecidas para evaluar cada factor, es un facilitador para los pequeños entornos, quienes sin contar con un conocimiento acabado del modelo, o sin invertir demasiado tiempo en el diseño del instrumento de evaluación, podrían aplicarlo.

Contar con una herramienta de este estilo es muy útil ya que permite medir el éxito del producto, otorgándole mayor valor al entorno en que se utiliza. El realizar una investigación de este tipo contribuye a proveer de herramientas más inteligentes y estructuradas que ayudan a detectar oportunidades de mejora para un producto de software. La medición del éxito o eficacia de los productos de software es una actividad crítica para el entendimiento del valor que otorgan las inversiones que se realizan en éstos. La evaluación y publicación de los resultados de las evaluaciones aplicadas a distintos productos de software será de ayuda para las empresas que adquieren software ya que podrán contar con una aproximación confiable para decidir entre varias opciones y verificar cuál se desempeñaría mejor según sus necesidades. Por otro lado, las empresas desarrolladoras de software serían capaces de evaluar el desempeño de sus propios productos, detectando oportunidades de mejora para ofrecer mejores productos y, además, permitirá comparar el nivel de éxito de sus propios productos con los de la competencia.

El artículo se organiza de la siguiente forma: en la sección dos se presenta un resumen de trabajos relacionados con la evaluación de sistemas de información y/o productos de software. En la tercera sección se detalla la guía propuesta para luego mostrar su aplicación en un caso de estudio en la sección 4. Se finaliza el artículo con las conclusiones y trabajo futuro.

2. Trabajos Relacionados

Un proyecto de software exitoso ha sido descrito como aquel que se realiza dentro del presupuesto, según lo previsto, y que cumple con los objetivos de negocio (Berntsson-Svensson & Aurum, 2006) (Vasconcelos et al., 2017). También se sugiere que el éxito depende de la perspectiva de las partes interesadas. Según Linberg (Linberg, 1999), existen diferencias de opinión entre los participantes del proyecto (desarrolladores) y los gestores a la hora de definir lo que constituye un proyecto de software exitoso. Este autor sugiere que podría ser necesaria una nueva teoría de éxito que explique las diferencias en las opiniones y experiencias en diferentes industrias con respecto a los factores de éxito en el desarrollo de software (Berntsson-Svensson & Aurum, 2006).

De acuerdo con (Baccarini, 1999), el éxito de los proyectos requiere una combinación de éxito en la gestión del proyecto y éxito en el producto. El éxito de la gestión de un proyecto está relacionado con la eficiencia del proceso de gestión del proyecto en términos de costo, tiempo y calidad. Por otro lado, el éxito de un producto de un proyecto está relacionado con la efectividad del producto final.

En cuanto a la aplicación del modelo de DeLone & McLean, a pesar de que el modelo es bastante antiguo, sigue siendo ampliamente aplicado en distintos ámbitos. Sólo en los

años 2016 y 2017 se pueden encontrar reportes de su aplicación en sistemas del sector salud (Tubaishat, 2017) (Keikhosrokiani, Mustaffa, & Zakaria, 2018) (Bossen, Jensen, & Udsen, 2013), e-government (Cohen, Coleman, & Kangethe, 2016) (Stefanovic, Marjanovic, Delić, Culibrk, & Lalic, 2016) (Weerakkody, Irani, Lee, Hindi, & Osman, 2016), aplicaciones de e-learning (Gay, 2016) (Yang, Shao, Liu, & Liu, 2017), el uso de blogs (Wang, y otros, 2016), compras online (Hung-Joubert, 2017), sistemas de información industrial (Roky & Al-Merioush, 2015), banca móvil (Tam & Oliveira, 2016).

Todas estas aplicaciones reportadas, corresponden a sistemas utilizados por grandes organizaciones, no se identificaron aplicaciones en pequeños entornos. Además, todas ellas utilizan como instrumento de medición, encuestas, en donde sólo se reportan los resultados, sin detallar cómo fueron construidos estos instrumentos.

3. Guía Propuesta

Muchos investigadores han comentado sobre la dificultad de aplicar el modelo de éxito de SI de D&M para definir y poner en uso la evaluación del éxito de SI en contextos de investigación específicos (Baccarini, 1999) (Jiang & Klein, 1999) (Whyte, Bytheway, & Edwards, 1997). La misma definición inicial del modelo de D&M indica que ninguna variable es intrínsecamente mejor que otra, la elección de variables de éxito suele estar definida en función del objetivo del estudio y del contexto organizacional (DeLone & McLean, 2003).

Por este motivo, en vez de proponer un formato general de evaluación, en este trabajo se optó por proponer una guía que indica los pasos a seguir para generar un instrumento de evaluación que permite determinar si un software es exitoso o no, destacando la necesidad de considerar el contexto en el que este esté siendo utilizado al momento de evaluar.

3.1. Estructura de la Guía

En primer lugar, es necesario identificar el contexto en el que se está utilizando el software, profundizando en las características de éste y en los usuarios que lo utilizan. Según esa información se debe definir las dimensiones y las medidas que son aplicables para evaluarlo, esto es considerado como una segunda etapa donde se analiza el modelo de D&M. Posteriormente se puede diseñar el formato del instrumento de medición, en esta etapa es donde se genera la herramienta de evaluación. Una vez que se ha definido el formato se procede a aplicar la encuesta dentro de su contexto. Luego de haber obtenido la cantidad de respuestas necesarias comienza la etapa de análisis de la información obtenida. Finalmente, se procede a discutir los resultados y elaborar las conclusiones del estudio basadas en el previo análisis. A continuación, se detallan las etapas y actividades.

Identificación del Contexto

En esta etapa se realizan dos actividades:

1. Identificar características básicas del producto de software que se desea evaluar con el objetivo de contextualizar al usuario que responderá la encuesta. Algunas características a identificar son el nombre del software, su objetivo dentro de la empresa, tiempo que lleva funcionando, uso voluntario o mandatorio, entre

otros. Para facilitar la identificación de estas características, se incluyen en la guía algunas preguntas sugeridas para plantear en este punto.

2. Identificación de los usuarios. Se busca definir el público al que se va a encuestar con el objetivo de orientar las preguntas hacia aspectos que sean de relevancia para ellos, y asegurar que cuenten con la capacidad de responder las preguntas según su nivel de conocimiento y experiencia con el software. Si se diera el caso de que los tipos de usuario son muy diferentes unos de otros, se sugiere generar formatos de evaluación distintos y luego hacer un análisis independiente para cada uno.

Análisis del Modelo

En esta etapa se realizan dos actividades:

1. Análisis de las dimensiones incluidas en el modelo. Su objetivo es determinar las dimensiones que son factibles evaluar para la empresa, es decir, se deben descartar aquellas que están enfocadas a evaluar algún aspecto que no aplica a su contexto, o que no se requiere evaluar. Para facilitar el análisis de las dimensiones se incluye en la guía una breve descripción de lo que busca evaluar cada dimensión.

Para la dimensión de Uso/Intención de Uso se recomienda utilizar Intención de Uso como una medida alternativa de Uso para algunos contextos, como son los de uso mandatorio del software. En caso de que su uso sea voluntario, el Uso real representa una medida de éxito más apropiada. Esto se debe a que, si los usuarios deben usar el software por obligación, la medida del Uso entregará información sobre la naturaleza del uso que le den al software, pero su cantidad de uso no dependerá del usuario que esté respondiendo la entrevista, por otro lado, si se evalúa la Intención de Uso que el usuario tiene hacia un software obligatorio, se puede detectar la actitud que tiene hacia el uso de éste.

2. Determinar las medidas a evaluar en cada dimensión identificada en el punto anterior. Para facilitar esta tarea la guía incorpora un catálogo de posibles medidas a utilizar para evaluar el software, recopiladas de estudios de distintos autores. Se sugiere seleccionar aquellas medidas que son relevantes dentro del contexto y de este modo reducirlas hasta contar solamente con las medidas válidas que influyen en la evaluación. Este ejercicio permite depurar el listado de medidas para utilizarlas posteriormente en la elaboración de la herramienta de evaluación. Se sugiere reunir un grupo de expertos dentro de la empresa para debatir y seleccionar las medidas válidas, y que hagan sus aportes y comentarios de acuerdo a su experiencia e interacción con el software.

Diseño del Instrumento de Medición

En esta etapa se consideran dos actividades:

1. Datos demográficos. Se busca identificar preguntas generales con información ajustada al contexto y que sea de interés al momento de discutir los resultados, como, por ejemplo: el nombre (en caso de no ser anónima), edad, sexo, rol de usuario, área o departamento, tiempo de uso del software, entre otros.

Cabe mencionar que la inclusión de los datos demográficos debe analizarse según la realidad de cada organización, para asegurar que, si la encuesta es anónima, éstos no permitan identificar al usuario que respondió.

2. Herramienta de evaluación. Se utiliza la escala Likert para la evaluación, que consiste en una serie de sentencias en las cuales el cuestionado selecciona un grado de aceptación o rechazo de acuerdo a la escala propuesta. Las sentencias a generar deben estar agrupadas por dimensión. Estas aseveraciones deben estar relacionadas con las medidas válidas identificadas en la actividad dos de la segunda etapa. Es posible generar más de una sentencia para evaluar una medida ya que en el análisis posterior se realiza una tabulación de las preguntas para estos casos.

Las aseveraciones deben indicar características positivas del software, por ejemplo, sería incorrecto incluir “El software es difícil de usar”, en su lugar se sugiere incluir “El software es fácil de usar”. Esto es debido a que el futuro análisis se realiza según la percepción de favorabilidad y desfavorabilidad de los usuarios con respecto al software, y depende directamente de la forma en que se evalúe su respuesta en la escala.

Otro punto a tener en cuenta es la forma en que se redactan las sentencias de las dimensiones Uso e Intención de Uso. Si bien éstas utilizan las mismas medidas, se diferencian si el software a evaluar es voluntario o mandatorio. Por ejemplo, si se quiere medir la frecuencia del uso de un software voluntario, la sentencia podría redactarse “Yo uso el software muy frecuentemente”. En el caso de un software mandatorio, una sentencia más apropiada sería: “Tengo la intención de usar el software frecuentemente”.

Se debe recordar incluir en el instrumento la información recopilada en la actividad uno de la primera etapa.

Recolección de Datos

Esta etapa considera dos actividades:

1. Determinar la población objetivo. Teniendo en cuenta que es probable que al aplicar la encuesta la cantidad de muestras válidas obtenidas finalmente sea menor que la cantidad de la población encuestada, se debe calcular el valor de la muestra mínima necesaria n para obtener resultados representativos en relación a la población bajo estudio. Se sugiere utilizar la fórmula de la Ecuación (1) para determinar el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p(1 - p)}{e^2(N - 1) + Z^2 \times p(1 - p)}$$

Donde n es el tamaño de la muestra (valor a ser calculado); N es el tamaño de la población (cantidad total de personas a ser encuestadas); Z es la desviación del valor de la media aceptado para obtener el nivel de confianza deseado. Dependiendo del nivel de confianza que se dispone a aceptar, se determina un valor a partir de la distribución Gaussiana. Los niveles de confianza más

utilizados son de 90%, 95% y 99%, lo que implica un valor de $Z=1,645$, $Z=1,96$ y $Z=2,575$, respectivamente. La variable e es el máximo margen de error tolerado. Se sugiere usar un 5%; p es la proporción de individuos que se espera obtener. Si no se tiene una noción de qué valor esperar, pensar en el escenario del peor caso, en el que se divide a la población equitativamente, es decir, se define p en 50%.

2. Aplicación de la encuesta. Se puede optar por algún recurso online como encuestafacil.com, Google Forms, o alguna plataforma que se utilice dentro la misma empresa. También se puede realizar de forma presencial mediante entrevistas o aplicando el cuestionario de manera escrita.

Análisis y Discusión de la Información Recopilada

En esta etapa se incluyen seis actividades:

1. Análisis de la información general o demográfica obtenida, ya que puede ayudar al momento de obtener las conclusiones. Sin embargo, esta es una tarea opcional que no afectará en los cálculos del éxito del producto.
2. Tabulación de los resultados, en el que se debe identificar, para cada sentencia, la cantidad de encuestados que eligió cada opción.
3. Análisis de frecuencia por medida. Para cada medida, se debe calcular el promedio de encuestados que eligió cada opción considerando todos los ítems asociados a la medida.
4. Análisis de favorabilidad por medida. Para representar esto, se utiliza la propuesta de (Ayala, 2012) quien sugiere elaborar un diagrama de percepción positiva por medida (Ver Figura 9 del caso de estudio). Para construir este tipo de diagrama, se debe realizar el cálculo, para cada medida, de su porcentaje de desfavorabilidad, favorabilidad e indecisión. El diagrama deberá contener las dimensiones y medidas, y para cada medida se debe denotar mediante un color la percepción que tuvieron los encuestados de ella.
5. Analizar la favorabilidad y desfavorabilidad de cada dimensión. También se utiliza el diagrama de percepción propuesto en (Ayala, 2012). El diagrama deberá contener las dimensiones, y para cada medida se debe denotar mediante porcentajes la percepción de desfavorabilidad y favorabilidad que tuvieron los encuestados con respecto a ellas.
6. Discusión de los resultados, identificando las posibles brechas que pueda tener el software según las dimensiones evaluadas como desfavorables, y con base en esto identificar oportunidades de mejora y reportar las recomendaciones. En este punto es posible incorporar la información demográfica obtenida. Esta información no afecta directamente en el análisis del éxito del software, pero sí puede ser relevante para usar como guía para aplicar mejoras al software.

4. Aplicación en un Caso de Estudio

La guía propuesta fue aplicada en una pequeña empresa de servicios comunicacionales con más de 15 años de experiencia, dedicada a apoyar la gestión de empresas de diversos ámbitos. La empresa está compuesta por tres principales áreas: diseño, prensa y Soporte, Ingeniería y Tecnología (SIT). Durante la aplicación de esta propuesta se contó

con el apoyo del Gerente de Producción de la empresa, quién además fue el creador del producto de software a evaluar.

El producto evaluado lleva varios años en uso. Es una plataforma desarrollada en Microsoft Sharepoint Foundation 2010 que cuenta con diversos módulos que apoyan la gestión interna de la empresa. Este sistema es accesible desde la intranet de la empresa, y busca mejorar la toma de decisiones basadas en el registro y gestión de la información. Es usado por todas las áreas de la empresa, y hasta el día de hoy se siguen desarrollando nuevos módulos para complementarlo según vayan surgiendo nuevas necesidades. A continuación, se presenta la aplicación de la guía.

Etapa 1: Identificación del Contexto

La Tabla 1 muestra las preguntas que apoyan la realización de la actividad “Identificación del Software”. Todas estas preguntas fueron respondidas por el Gerente de Producción.

La Tabla 2 muestra las preguntas que se realizaron para la identificación de usuarios. Algunas respuestas han sido omitidas de la tabla por cuestiones de confidencialidad.

Preguntas	Respuestas
¿Cuál es el nombre del software?	SIG F2
¿Cuál es el objetivo que cumple el software dentro de la empresa o institución?	Apoyar la gestión interna de la empresa y mejorar sus procesos
¿Cuánto tiempo lleva funcionando el software?	4 años
¿El uso del software es mandatorio o voluntario para sus usuarios?	Mandatorio

Tabla 1 – Identificación del Software

Preguntas	Respuestas
¿Quiénes responderán la encuesta?	Todo el personal usuario (Gerencia-Administración-Prensa-Diseño-SIT)
¿A qué módulos y funcionalidades tienen acceso estas personas?	Las funcionalidades básicas a las que tienen acceso los usuarios dentro del sistema son crear, editar, ver y eliminar elementos y vistas de datos, y activar flujos de trabajo asociados a los elementos. El acceso a estas funcionalidades está restringido según el módulo y rol de usuario que haya iniciado sesión.

Tabla 2 – Identificación de los usuarios

Etapa 2: Análisis del Modelo

Se determinan las dimensiones del modelo a evaluar. En este caso la organización decidió evaluar todas las dimensiones. Luego, se realiza la identificación de medidas válidas, a partir de un catálogo de medidas por dimensión que forma parte de esta guía propuesta, la organización seleccionó aquellas que serían consideradas en la evaluación. La Tabla 3 muestra el total de medidas por dimensión disponibles en el catálogo, y la cantidad de medidas seleccionadas por la organización.

Dimensión	Medidas disponibles	Medidas seleccionadas
Calidad del software	27	10
Calidad de la información	25	7
Calidad del servicio	13	4
Intención de uso	13	3
Satisfacción del usuario	10	4
Beneficios netos	32	9
TOTAL	120	37

Tabla 3 – Medidas por dimensión seleccionadas

Etapas 3: Diseño del instrumento de evaluación

Se comienza por la elección de los datos demográficos a considerar. En este caso, la organización decidió realizar una encuesta de carácter anónimo, cuyas preguntas generales son Sexo (Masculino, femenino); Área (Gerencia, Administración, Prensa, Diseño, SIT); Experiencia de uso del software (menos de medio año, un año, dos años, más de dos años).

Luego se realiza la creación del instrumento, a partir de las medidas seleccionadas. Como ejemplo, la Tabla 4 muestra algunas preguntas que se asocian a la dimensión Beneficios Netos. Las preguntas se responden con base en la escala Likert definida por esta guía (Ver sección 2.4).

Medida		Preguntas	
Código	Descripción	Código	Descripción
BN_Mo1	Ahorro de tiempo	BN_Mo1_Qo1	El sistema me ha ayudado a ahorrar tiempo en mi trabajo
BN_Mo2	Control en la gestión	BN_Mo2_Qo1	El sistema permite tener un mayor control en la gestión de las tareas
		BN_Mo2_Qo2	El sistema permite mejorar la coordinación de las tareas
BN_Mo3	Efectividad en las decisiones	BN_Mo3_Qo1	El sistema y la información que produce me permiten tomar decisiones acertadas

Tabla 4 – Ejemplos de preguntas del instrumento de evaluación

Etapas 4: Recolección de datos

Se realizó la determinación de la población objetivo, con base en la fórmula mostrada en la ecuación (1). Para este caso, la población objetivo son todos los trabajadores de la empresa que son usuarios del SIG, en total 19 personas. Considerando un nivel de

confianza de 90%, y un error esperado de 5%, se obtiene al aplicar la ecuación que 18 es la cantidad mínima de personas que deben responder la encuesta para obtener resultados representativos.

Luego se procede a la aplicación de la encuesta. Ésta estuvo disponible 7 días a través de la herramienta Google Forms. Los trabajadores recibieron el enlace a la encuesta a través de sus correos institucionales. La Tabla 5 muestra el número de preguntas por dimensión. De las 19 personas consultadas, 18 respondieron la encuesta.

Etapa 5: Análisis de la información recopilada

Se realiza la tabulación de la información general o demográfica. Para este caso, 18 personas respondieron la encuesta. Se identificó un 72,2% de participación masculina y un 27,8% femenina. Por otro lado, el 27,8% de los encuestados pertenece al área de Prensa, al igual que SIT, mientras que un 22,2% pertenece al área de Diseño. Un 16,7% pertenece al área de Gerencia y un 5,6% al área de Administración. La mayoría de los encuestados posee más de dos años utilizando el sistema (44,4%), mientras que el 22,2% lo ha utilizado entre uno y dos años. Un 5,6% señala que lo ha utilizado entre seis meses y un año y un 27,8% en menos de seis meses.

Dimensión/Tipo	Número de ítems
<i>Calidad del software</i>	11
<i>Calidad de la información</i>	9
<i>Calidad del servicio</i>	6
<i>Intención de uso</i>	5
<i>Satisfacción de usuario</i>	6
<i>Beneficios netos</i>	12
<i>Demográficas</i>	3
TOTAL	52

Tabla 5 – Número de preguntas por dimensión

La Tabla 6 muestra un ejemplo de la tabulación de resultados de los valores de frecuencia por ítem. En esta Tabla, la columna (1) representa “muy en desacuerdo”, la columna (2) “medianamente en desacuerdo”, la columna (3) “Ni de acuerdo, ni en desacuerdo”, la columna (4) “Medianamente de acuerdo” y la columna (5) “Muy de acuerdo”. Luego, la Tabla 7 muestra un ejemplo de los valores obtenidos en el análisis de frecuencia por medida.

Con esta información se procedió a analizar cada medida, organizadas por dimensión. Como ejemplo, la Tabla 8 muestra el análisis de algunas de las medidas correspondientes a la dimensión Calidad del Software. La Figura 2 muestra un ejemplo de los gráficos generados como parte de este análisis.

Pregunta	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CS_Mo1_Qo1	1	1	0	3	13
CS_Mo2_Qo1	0	2	6	6	4
CS_Mo3_Qo1	2	6	4	6	0
CS_Mo4_Qo1	0	3	3	9	3
CS_Mo5_Qo1	0	2	5	9	2

Tabla 6 – Ejemplos de Frecuencias por cada pregunta

Medida	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CS_Mo1	1	1	0	3	13
CS_Mo2	0	2	6	6	4
CS_Mo3	2	6	4	6	0
CS_Mo4	0	3	3	9	3
CS_Mo5	2	2,5	6	5,5	2

Tabla 7 – Ejemplos de frecuencias por cada medida

Dimensión: Calidad del Software	
Disponibilidad	Se evalúa qué tan disponible está el sistema cuando se necesita. Los resultados muestran que este aspecto está muy bien evaluado, con una favorabilidad del 88,89%
Facilidad de aprendizaje	Se evalúa si es fácil de aprender a usar este sistema en poco tiempo. La mayoría de las respuestas recaen en indecisión y medianamente de acuerdo, lo que tiende a ser positiva

Tabla 8 – Análisis dimensión Calidad del Software

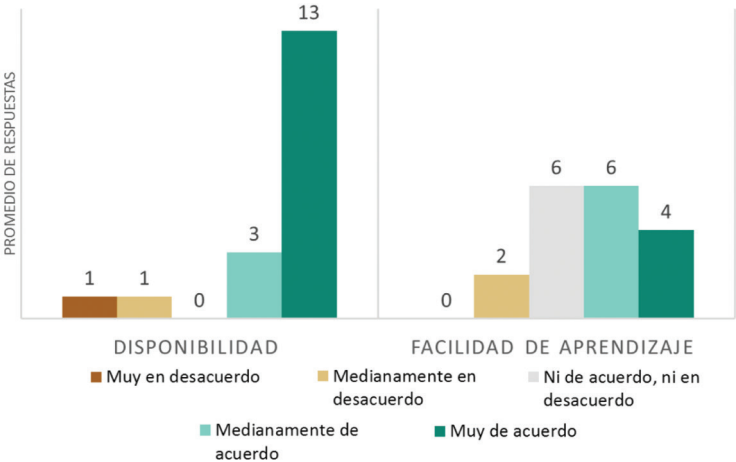


Figura 2 – Gráfico de frecuencias para la Dimensión Calidad del Software

Se procede con el Análisis de Favorabilidad y Desfavorabilidad por medida, lo que se traduce en un análisis de apreciación para cada medida. Si la persona encuestada marcó “muy en desacuerdo” o “medianamente en desacuerdo” indica desfavorabilidad. Por otro lado, si la persona marcó “muy de acuerdo” o “medianamente de acuerdo” este indica favorabilidad. Si la persona no ha indicado favorabilidad o desfavorabilidad se considera indecisión. La Tabla 9 muestra un ejemplo de los porcentajes calculados.

Medida	% Desfavorabilidad	% Indecisión	% Favorabilidad
CS_Mo1	11,11%	0,00%	88,89%
CS_Mo2	11,11%	33,33%	55,56%
CS_Mo3	44,44%	22,22%	33,33%
CS_Mo4	16,67%	16,67%	66,67%
CS_Mo5	25,00%	33,33%	41,67%

Tabla 9 – Ejemplos de cálculos de porcentajes por medida

Para visualizar de mejor forma los resultados obtenidos, se elaboró un diagrama de percepción positiva por medida que se muestra en la Figura 3.

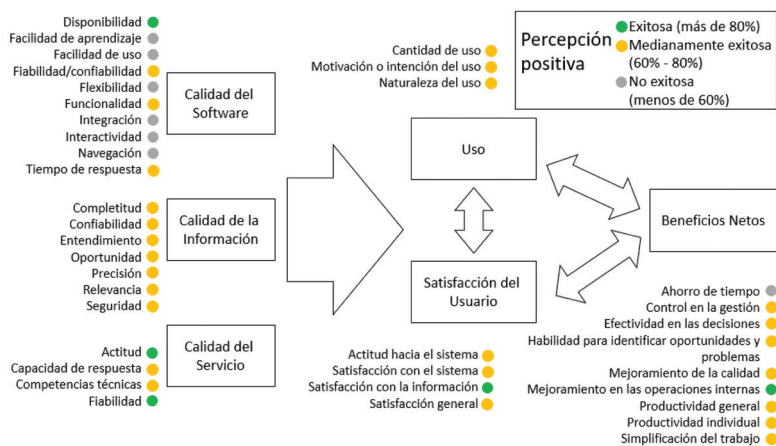


Figura 3 – Diagrama de percepción positiva por medida

Se sigue con el análisis de favorabilidad y desfavorabilidad por dimensión. Primero se realizó el cálculo de porcentaje de desfavorabilidad y favorabilidad por cada dimensión. Esto se hace promediando los porcentajes de las medidas correspondientes a cada dimensión, esto significa que, por defecto, se asume que todos los aspectos tienen la misma relevancia. Una alternativa a considerar, es la definición de distintas prioridades para cada aspecto, en cuyo caso, en lugar de calcular el promedio aritmético, se debería utilizar un promedio ponderado. El resultado se observa en la Tabla 10.

Dimensión	% Desfavorabilidad	% Favorabilidad
Calidad del software	20,83%	55,83%
Calidad de la información	12,70%	72,22%
Calidad del servicio	6,94%	80,56%
Intención de uso / Uso	16,67%	66,67%
Satisfacción del usuario	7,64%	73,61%
Beneficios netos	14,92%	68,93%

Tabla 10 – Favorabilidad por dimensión

Después, se elaboró un diagrama de percepción por dimensión que se muestra en la Figura 4.

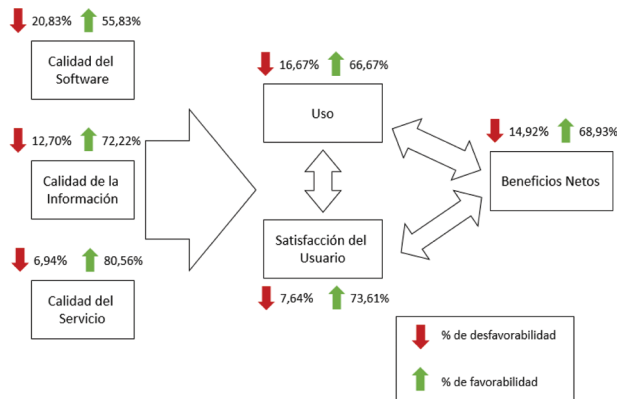


Figura 4 – Diagrama de percepción por dimensión

Finalmente se realiza la discusión de los resultados. Entre las conclusiones más relevantes, se puede mencionar que las dimensiones más exitosas determinadas por el estudio son la Calidad del Servicio (80,56% de favorabilidad), la Satisfacción de Usuario (73,61% de favorabilidad), y la Calidad de la Información (72,22% de favorabilidad). Es importante destacar que la dimensión de la Calidad del Software es la peor evaluada (55,83% de favorabilidad y un 20,83% de desfavorabilidad), debido a que se ven afectados dentro de esta dimensión aspectos como la facilidad de aprendizaje / uso, flexibilidad, integración, interactividad y navegación. Esta oportunidad de mejora se encuentra asociada principalmente a las limitaciones que presenta la plataforma Microsoft Sharepoint 2010, ya que, pese a ser utilizada hace bastante tiempo por la empresa, su falta de actualización restringe la forma de interacción con el usuario al presentar limitadas opciones para desplegar información. Además, se discutieron los resultados obtenidos en cada una de las preguntas, ordenados por dimensión. En cada

una se destacan aquellas medidas evaluadas como no exitosas, identificando de manera explícita oportunidades de mejora.

5. Conclusiones

A pesar de la relevancia del uso de los productos de software en la actualidad, todavía no existe un consenso en cómo medir el éxito de los mismos, enfocándose principalmente en el éxito de los proyectos que engloban el desarrollo de éstos.

Se pudo apreciar la importancia de diferenciar calidad de éxito. Si bien el éxito de un producto puede ir de la mano con la calidad de éste, los métodos de evaluación de calidad no engloban el concepto de éxito en su totalidad.

En la revisión de literatura realizada, no se encontró aplicaciones del modelo D&M en pequeños entornos, ni especificaciones detalladas de cómo generar el instrumento de evaluación.

La guía propuesta busca facilitar la evaluación de sistemas utilizados por pequeños entornos, con base en el modelo de D&M, a través de la definición de etapas y actividades concretas a desarrollar, además de proveer un conjunto de preguntas que aceleran el diseño del instrumento.

Al aplicar la propuesta en una pequeña empresa, se pudo observar que el instrumento de medición generado a partir del modelo es útil en la evaluación del éxito del producto de software, reflejando de manera simple y clara los aspectos en los que es posible realizar mejoras. De hecho, para el caso de estudio se pudo evidenciar que la dimensión de la Calidad del Software fue la menos favorable.

El realizar una investigación de este tipo contribuye a proveer de herramientas más inteligentes y conocimiento estructurado que facilite la evaluación del éxito que ha tenido un producto de software dentro de su entorno, proporcionando la detección de oportunidades de mejora del mismo.

La guía desarrollada en este trabajo es útil para determinar qué aspectos del producto de software evaluado se están desempeñando bien, y de esta forma también detectar oportunidades de mejora.

Durante la etapa de la aplicación de la propuesta en un caso de estudio se pudo detectar posibles mejoras al formato de evaluación:

Agregar un espacio al final de las sentencias para que, opcionalmente, los encuestados puedan escribir sus opiniones, sugerencias u observaciones con respecto al sistema. Esto puede resultar de gran utilidad al momento de discutir los resultados.

Realizar un análisis con los resultados obtenidos de las sentencias que permita filtrar datos según la información demográfica.

Como trabajo futuro, se podría validar esta propuesta, haciendo uso del método de consistencia interna basado en el alfa de Cronbach, que permite estimar la fiabilidad de

la consistencia interna de un instrumento de medida a través de un conjunto de ítems que se espera que midan un mismo constructo.

Referencias

- Ayala, A. (2012). *Evaluación del módulo de Recursos Humanos del Enterprise Resource Planning (ERP) en una empresa colombiana usando el modelo de Delone y Mclean*. Universidad Nacional de Colombia., desde: <http://bdigital.unal.edu.co/8595/1/2822130.2012.pdf> (Obtenido 24 septiembre 2018).
- Baccarini, D. (1999). The Logical Framework Method for Defining Project Success. *Project Management Journal*, 30(4), 25–32.
- Berntsson-Svensson, R., & Aurum, A. (2006). Successful software project and products. En *ISESE '06 Proceedings of the 2006 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering*. doi: 10.1145/1159733.1159757.
- Bossen, C., Jensen, L., & Udsen, F. (2013). Evaluation of a comprehensive EHR based on the DeLone and McLean model for IS success: Approach, results, and success factors. *International Journal of Medical Informatics*, 82(10), 940–953.
- Cohen, J., Coleman, E., & Kangethe, M. (2016). An importance-performance analysis of hospital information system attributes: A nurses' perspective. *International Journal of Medical Informatics*, 86, 82–90.
- DeLone, W., & McLean, E. (2003). The Delone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update. *Journal of Management Information Systems*, 19(4), 9–30.
- Gay, G. (2016). An assessment of online instructor e-learning readiness before, during, and after course delivery. *Journal of Computing in Higher Education*, 28(2), 199–220.
- Geraci, A., Katki, F., McMonegal, L., Meyer, B., & Porteous, H. (1991). IEEE Standard Computer Dictionary. A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. IEEE Std 610.
- Hung-Joubert, Y. (2017). Investigating the construct validity of quality measures influencing online shopping in a south african context. *Management & Marketing*, 12(3), 376–401.
- Jiang, J., & Klein, G. (1999). User evaluation of information systems: by system typology. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 29(1), 111–116.
- Jiménez, J., San Feliú, T. & Calvo-Manzano, J. (2016). Una aproximación basada en metamodelado del área de proceso de Validación del CMMI: Un caso de estudio. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información RISTI*, 17, 26–40.
- Keikhosrokiani, P., Mustaffa, N., & Zakaria, N. (2018). Success factors in developing iHeart as a patient-centric healthcare system: A multi-group analysis. *Telematics and Informatics*, 35(4), 753–775.

- Linberg, K. (1999). Software developer perceptions about software project failure: a case of study. *Journal of Systems and Software*, 49(2-3), 177–192.
- Roky, H., & Al-Meriouh, Y. (2015). Evaluation by Users of an Industrial Information System (XPPS) Based on the DeLone and McLean Model for IS Success. *Procedia Economics and Finance*, 26, 903–913.
- Stefanovic, D., Marjanovic, U., Delić, M., Culibrk, D., & Lalic, B. (2016). Assessing the success of e-government systems: An employee perspective. *Information & Management*, 53(6), 717–726.
- Tam, C., & Oliveira, T. (2016). Understanding the impact of m-banking on individual performance: DeLone & McLean and TTF perspective. *Computers in Human Behavior*, 61, 233–244.
- Tubaishat, A. (2017). Evaluation of electronic health record implementation in hospitals. *CIN - Computers Informatics Nursing*, 35(7), 364–372.
- Vasconcelos, J. B., Kimble, C., Carreteiro, P., & Rocha, Á. (2017). The application of knowledge management to software evolution. *International Journal of Information Management*, 37(1), 1499–1506.
- Wang, Y., Li, C., Yeh, C., Cheng, S., Chiou, C., Tang, Y., & Tang, T. (2016). A conceptual model for assessing blog-based learning system success in the context of business education. *The International Journal of Management Education*, 14(3), 379–387.
- Weerakkody, V., Irani, Z., Lee, H., Hindi, N., & Osman, I. (2016). Are U.K. Citizens Satisfied With E-Government Services? Identifying and Testing Antecedents of Satisfaction. *Information Systems Management*, 33(4), 331–343.
- Whyte, G., Bytheway, A., & Edwards, C. (1997). Understanding user perceptions of information systems success. *Journal of Strategic Information Systems*, 6(1), 35–68.
- Yang, M., Shao, Z., Liu, Q., & Liu, C. (2017). Understanding the quality factors that influence the continuance intention of students toward participation in MOOCs. *Educational Technology Research and Development*, 65(5), 1195–1214.

Factores Humanos y la Mejora de Procesos de Software. Propuesta inicial de un catálogo que guíe su gestión

Nelson Morales-Aguiar ¹, Vianca Vega-Zepeda ¹

nelson.morales01@ucn.cl, vvega@ucn.cl

¹ Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Católica del Norte, Avenida Angamos 0610, 1270709, Antofagasta, Chile

DOI: 10.17013/risti.29.30-42

Resumen: Durante muchos años las empresas de software han realizado numerosos esfuerzos para madurar las prácticas de desarrollo de software, utilizando diferentes técnicas y modelos, con la finalidad de alcanzar la calidad del producto que entregan y que tanto desean los clientes. La mejora de procesos de software tiene como objetivo analizar y definir cómo mejorar las prácticas de desarrollo software de una organización, partiendo de una evaluación del proceso en uso. La literatura actual informa que existen un conjunto de factores claves de éxito en la mejora de procesos de software al aplicar en las organizaciones. El objetivo de este artículo es proponer una primera versión de la estructura de un catálogo de factores humanos, identificados a partir de un conjunto de factores críticos de éxitos los cuales afectan en la mejora de procesos de software en una organización.

Palabras-clave: Factores Críticos de Éxito; Factores Humanos; Mejora de Procesos de Software.

Human Factors and Software Process Improvement. Initial proposal for a Catalog Directing Management

Abstract: For many years, software companies have made many efforts to improve software development practices, using different techniques and models to achieve quality of the software they produce, which is highly demanded by clients. Software process improvement aims to analyze and define how the software development practices of an organization can be improved, starting from the evaluation of the process in use. The literature currently reports a set of key success factors to improve software processes to be used by organizations. The objective of this paper is to propose the first version of a catalog structure of human factors identified from a set of critical success factors affecting software process improvement in an organization.

Keywords: Critical Success Factors; Human Factors; Software Process Improvement.

1. Introducción

Numerosas empresas de software buscan mejorar los procesos que realizan a lo largo del ciclo de vida de la creación de un producto de software. Si bien existen diferentes elementos que permiten lograr este objetivo (Mejia, Muñoz, & Rocha, 2014), la Mejora de Procesos de Software (MPS) constituye un elemento importante a tener en cuenta para que las organizaciones puedan mejorar la manera en que trabajan y así obtener productos con una calidad deseada en la cual los clientes muestren su satisfacción por los resultados de los mismos (Toapanta, Sinchiguano, & Jiménez, 2017).

Para lograr una correcta implementación de esta MPS, según diferentes estudios como (Pekki, 2016), (Maturro & Saavedra, 2012), (Unterkalmsteiner et al., 2012), (Sulayman, Urquhart, Mendes, & Seidel, 2012), (Espinosa-Curiel, Rodríguez-Jacobo, & Fernández-Zepeda, 2013) y (Zahra et al., 2017) existen numerosos Factores Críticos de Éxitos (FCE) que influyen en la adopción de las MPS. Según (Casañola, Febles Estrada, & León-Rodríguez, 2014) los FCE se definen como factores determinantes en el éxito de un proyecto de MPS en una organización y establece una propuesta para valorar el estado de una organización previo a la MPS.

El presente artículo reporta una parte inicial del desarrollo de una tesis de maestría donde se busca proponer un marco de trabajo para la mejora de procesos de software basado en CMMI, que considera los factores humanos presentes en una organización. La Figura 1 muestra un esquema general de los componentes del marco de trabajo en desarrollo.

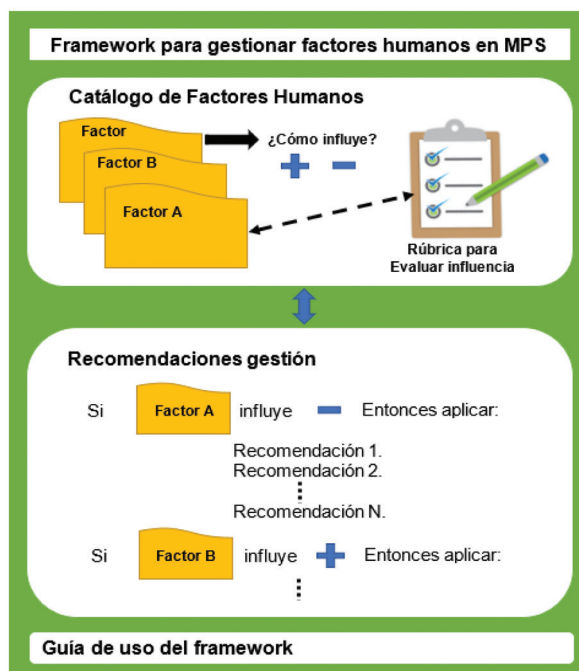


Figura 1 – Framework para gestionar factores humanos en la MPS

En este sentido esta investigación transita por las siguientes actividades:

1. Recopilar a partir de la literatura relacionada con la MPS los factores que influyen en este tipo de proyectos.
2. A partir del resultado de la actividad anterior, identificar cuáles de dichos factores corresponden a aspectos humanos.
3. Representar cada factor en un catálogo.
4. Proponer una Rúbrica para evaluar cada factor identificado.
5. Proponer una Guía de recomendaciones de cómo enfrentar los factores presentes.
6. Proponer una Guía de uso del framework.

Este artículo, presenta los resultados de las primeras actividades mencionadas anteriormente (1. Recopilar los factores presentes en la literatura de las MPS; 2. Identificar los factores humanos). Se identificaron factores que influyen en la mejora de procesos, y a partir de ellos se seleccionaron aquellos que correspondan a factores humanos. Dichos factores se someterán a una posterior categorización y se proveerá de un instrumento que permita identificar su influencia en la MPS, en dependencia del contexto en la que se aplique. Esto es, dado que un factor puede influir positiva o negativamente según sea el contexto de la organización, previo a proponer un plan de mitigación se debe tener claro para cada factor si influye positiva o negativamente en la iniciativa MPS.

Las preguntas de investigación que guían este artículo son:

- ¿Qué factores de influencia se reportan en la literatura en la MPS?
- ¿Existen factores humanos dentro de los que se reportan en la literatura?
- ¿Cómo se puede categorizar un factor para que forme parte de un catálogo?

El documento está organizado de la siguiente manera: la sección 2 se refiere al procedimiento utilizado para obtener los factores humanos identificados. En la sesión 3 los trabajos relacionados. La sección 4 propone los hallazgos preliminares. La sesión 5 presenta el catálogo de factores humanos y por último en la sesión 6 aparecen las conclusiones y el trabajo futuro a realizar.

2. Procedimiento

La Figura 2 muestra el procedimiento ejecutado para obtener los factores humanos. A partir de una revisión de la literatura se recopiló un conjunto de artículos en los cuales aparecen factores generales que influyen en la mejora de procesos de software.

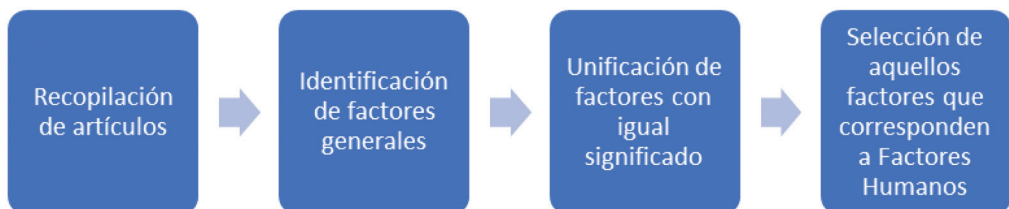


Figura 2 – Procedimiento para obtener los factores humanos identificados en la literatura

Esta búsqueda se realizó con base en el protocolo de revisión sistemática de Barbara Kitchenham, que presenta un método para la realización de revisiones sistemáticas en el contexto de Ingeniería del Software (Kitchenham, 2004). Luego de descartar aquellos artículos que no cumplieran con los criterios definidos o que, aunque contuvieran alguna de las palabras claves de búsqueda, sus contenidos no estaban directamente relacionados con el tema central de la investigación, el total de artículos revisados se redujo a 25 estudios.

Una vez recopilados los artículos, se procedió a registrar todos los factores que intervienen en la MPS. Producto de esta recopilación, se observó que diferentes autores en ocasiones hacían referencia a un mismo factor, pero llamándolo de distinta forma. Es por esto que para poder obtener el conjunto de factores generales, primero se agruparon y unificaron aquellos que tenían un mismo significado. Par realizar esta tarea se tuvieron en cuenta los siguientes elementos:

- La ambigüedad semántica de los factores incluidos.
- Algunos de los factores hacen referencia a más de un factor a la vez.
- La presencia de factores muy abstractos.
- La falta de estructuración de los niveles jerárquicos.

De esta revisión y ajuste, se obtuvieron un total de 15 factores generales que influyen en la MPS. Por último, los mismos autores determinaron cuáles de estos 15 factores correspondían a factores humanos. Sólo 4 factores cumplían con esta condición.

Las siguientes secciones de este artículo detallan los resultados de las etapas de este procedimiento.

3. Trabajos relacionados

De los 25 artículos seleccionados a partir de la revisión bibliográfica realizada, se muestra un resumen de 6 estudios destacados. Estos 6 estudios fueron elegidos teniendo en cuenta que, aunque los 25 documentos aportan información relacionada con la mejora de procesos, sólo los 6 descritos a continuación exponen factores explícitos que son de interés para la presente investigación. Los restantes se centran en identificar y caracterizar las estrategias de evaluación y mediciones utilizadas para evaluar el impacto de las diferentes iniciativas del MPS.

La investigación de (Galinac, 2009) propone una estrategia de implementación de mejoras de procesos de software que ha sido desarrollada en línea con los modelos y marcos estándares en esta área. En este documento existen una serie de estudios de encuestas y revisiones bibliográficas que investigan los factores críticos de éxitos y las Barreras Críticas (CB) para el éxito de la MPS.

Muhammad Sulayman, Cathy Urquhart, Emilia Mendes y Stefan Seidel en (Sulayman et al., 2012) se proponen como objetivo principal identificar los factores de éxito de la mejora de procesos de software para las pequeñas y medianas empresas Web. Los resultados arrojaron un marco inicial de FCE de MPS en las pequeñas y medianas empresas web, que puede ser de utilidad para las que participan en proyectos de MPS.

G. Matturro y J. Saavedra (Matturro & Saavedra, 2012) muestran los resultados de un mapeo sistemático de la literatura cuyo objetivo fue identificar la investigación existente

sobre los factores de éxito, barreras, obstáculos, motivadores y desmotivadores que afectan una iniciativa de mejora de procesos software.

En el artículo (Espinosa-Curiel et al., 2013) se propone un marco de factores que influyen en las iniciativas del MPS en las PyMEs y una metodología para evaluar y controlar estos factores. Como resultado de este estudio se obtiene un marco que incluye 132 factores agrupados en seis categorías. Además, se especifican las propiedades, las escalas de valores y los valores de propiedad para cada factor, estos últimos corresponden con el valor cuantitativo de la propiedad del factor. Los administradores de iniciativas de MPS podrían utilizar este marco para evaluar y controlar las posibles amenazas a sus proyectos de mejora y proponer estrategias más adecuadas.

Hall, Rainer y Baddoo (Hall, Rainer, & Baddoo, 2002) llevaron a cabo una encuesta en 85 compañías que poseían diferentes niveles de CMMI. Dividieron los factores entre (1) factores humanos (por ejemplo, líderes de SPI, compromiso de la gerencia y participación del personal); (2) factores organizacionales (por ejemplo, comunicación y recursos); y (3) factores de implementación (por ejemplo, infraestructura de MPS, establecimiento de objetivos, adaptación de MPS, evaluación). En su investigación midieron el uso de factores de implementación en la industria.

3.1. Factores Identificados

Para poder comparar los distintos estudios, se realizó un refinamiento con el objetivo de traducir los factores identificados que tuvieran el mismo significado o fuesen sinónimos procediendo a tener en cuenta un solo nombre para dicho factor. Luego, los autores realizaron una revisión exhaustiva para determinar cuáles de los factores corresponden a aspectos humanos.

Se listan todos los factores identificados en la Tabla 1, así como la publicación en la que fue encontrado este factor.

Nro	Factor	Estudios en los que está presente
1	Orientación Empresarial	(Unterkalmsteiner et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Galinac, 2009) (Khokhar, Zeshan, & Aamir, 2010) (Bayona, Calvo-Manzano, & San Feliu, 2012) (Dyba, 2005) (Rainer & Hall, 2002) (Cater-Steel, Toleman, & Rout, 2006) (Rainer & Hall, 2003) (M Niazi, 2015)
2	Compromiso de la alta gerencia	(Matturro & Saavedra, 2012) (Khokhar et al., 2010) (Bayona et al., 2012) (M Niazi, 2015) (Pino, García, & Piattini, 2008) (Savcenko & Tanveer, 2009) (Bunditwongrat, 2011) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Baddoo & Hall, 2002) (Passos, Dias-Neto, & da Silva Barreto, 2012) (Hall et al., 2002)
3	Cultura de la Organización	(Matturro & Saavedra, 2012) (Unterkalmsteiner et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Galinac, 2009) (Bayona et al., 2012) (Savcenko & Tanveer, 2009) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Passos et al., 2012) (Habib, 2009) (Abdullah, Al- Tarawneh, & Mat Ali, 2012) (Mahmood Niazi, Wilson, & Zowghi, 2006) (Albuquerque et al., 2013) (Lee, Shiue, & Chen, 2016) (Goldenson & Herbsleb, 1995)
4	Políticas de la Organización	(Unterkalmsteiner et al., 2012) (Abdullah et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Galinac, 2009) (Bayona et al., 2012) (Savcenko & Tanveer, 2009) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Passos et al., 2012) (Habib, 2009) (Abdullah et al., 2012) (Mahmood Niazi et al., 2006) (Albuquerque et al., 2013) (Lee et al., 2016) (Goldenson & Herbsleb, 1995) (El Emam, Goldenson, McCurley, & Herbsleb, 1998)

Nro	Factor	Estudios en los que está presente
5	Estructura de la Organización	(Unterkalmsteiner et al., 2012)
6	Asignación de recursos	(Matturro & Saavedra, 2012) (Unterkalmsteiner et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Galinac, 2009) (Bayona et al., 2012) (Pino et al., 2008) (Savcenko & Tanveer, 2009) (Bunditwongrat, 2011) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Habib, 2009) (Mahmood Niazi et al., 2006) (Albuquerque et al., 2013) (Allison, 2010) (Hall et al., 2002) (Goldenson & Herbsleb, 1995) (El Emam et al., 1998)
7	Objetivos principales	(Matturro & Saavedra, 2012) (Unterkalmsteiner et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Galinac, 2009) (Bayona et al., 2012) (Cater-Steel et al., 2006) (Pino et al., 2008) (Savcenko & Tanveer, 2009) (Bunditwongrat, 2011) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Baddoo & Hall, 2002) (Passos et al., 2012) (Hall et al., 2002) (Habib, 2009) (Abdullah et al., 2012) (Albuquerque et al., 2013) (Allison, 2010)
8	Beneficios de MPS	(Unterkalmsteiner et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Galinac, 2009) (Bayona et al., 2012) (Cater-Steel et al., 2006) (Pino et al., 2008) (Savcenko & Tanveer, 2009) (Bunditwongrat, 2011) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Baddoo & Hall, 2002) (Passos et al., 2012) (Hall et al., 2002) (Habib, 2009) (Abdullah et al., 2012) (Albuquerque et al., 2013) (Allison, 2010)
9	Responsabilidad de roles	(Bayona et al., 2012) (Cater-Steel et al., 2006) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Passos et al., 2012)
10	Estabilidad política	(Unterkalmsteiner et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Abdullah et al., 2012)
11	Gestión eficaz	(Unterkalmsteiner et al., 2012) (Bayona et al., 2012) (Abdullah et al., 2012)
12	Visión de la Organización	(Unterkalmsteiner et al., 2012) (Sulayman et al., 2012) (Nikitina & Kajko-Mattsson, 2012) (Habib, 2009)
13	Participación del personal	(Rainer & Hall, 2002) (Mahmood Niazi et al., 2006) (Goldenson & Herbsleb, 1995) (El Emam et al., 1998) (Stelzer, 1998)
14	Conciencia de MPS	(Dyba, 2005) (Mahmood Niazi et al., 2006) (El Emam et al., 1998)
15	Líderes de MPS	(Pekki, 2016) (Bayona et al., 2012)

Tabla 1 – Factores que intervienen en la MPS

4. Hallazgos preliminares

El factor humano es la influencia de las capacidades y limitaciones humanas. Tiene varias características que lo distinguen de los otros factores y lo ubican por encima de los demás ya que los recursos humanos no pueden ser propiedad de la organización, a diferencia de los otros recursos. Los conocimientos, la experiencia, las habilidades, entre otros, son parte del patrimonio personal (Likert & Gil Lasierra, 1969).

Este ángulo ligeramente poco convencional enfatiza la relación inextricable entre las MPS y las personas. Muchos de los casos de estudios reportados en la literatura consideran que los factores humanos son críticos para el éxito de las MPS. Se ha informado que las pequeñas empresas son particularmente vulnerables a los factores humanos, ya que por lo general dependen en gran medida de personas claves. Diferentes informes identifican

una variedad de factores humanos que deben ser manejados de manera efectiva (Horvat, Rozman, & Györköös, 2000).

Según The Australian Commission on Safety and Quality in Health Care (Lyons & Walton, 2005) la ingeniería del factor humano es una disciplina que busca optimizar la relación entre equipos y seres humanos, la aplicación de información sobre el comportamiento humano, las capacidades, limitaciones y otras características para el diseño de herramientas o sistemas de seguro y cómodo uso humano.

4.1. Factores Humanos

A partir de los conceptos que definen qué es un factor humano se procede a determinar dentro de los factores identificados, los que influyen en la MPS y cuáles son considerados como factores humanos. La Tabla 2 muestra el nombre del factor con su descripción.

En la Figura 3 se muestra un gráfico de barra (a) con la relación de la cantidad de veces que aparecen y en gráfico circular (b) el porcentaje que representan del total de los factores humanos identificados en los estudios.

Elemento	Descripción
Compromiso de la alta gerencia	Refiere al compromiso y apoyo de los ejecutivos y de la alta gerencia a la iniciativa de mejora de procesos software.
Participación del personal	Refiere al grado en que el personal dedicado a la mejora de procesos participa y se involucra en la realización de las actividades de mejora y en la toma de decisiones.
Responsabilidad de roles	Refiere al compromiso de cada persona de cumplir con las tareas asignadas a su rol en la iniciativa de mejora de procesos de software
Conciencia de SPI	Refiere a que el personal involucrado en la mejora de procesos perciba los beneficios y esté informado de los avances actuales obtenidos con el esfuerzo que se está realizando para mejorar los procesos software.

Tabla 2 – Factores humanos identificados

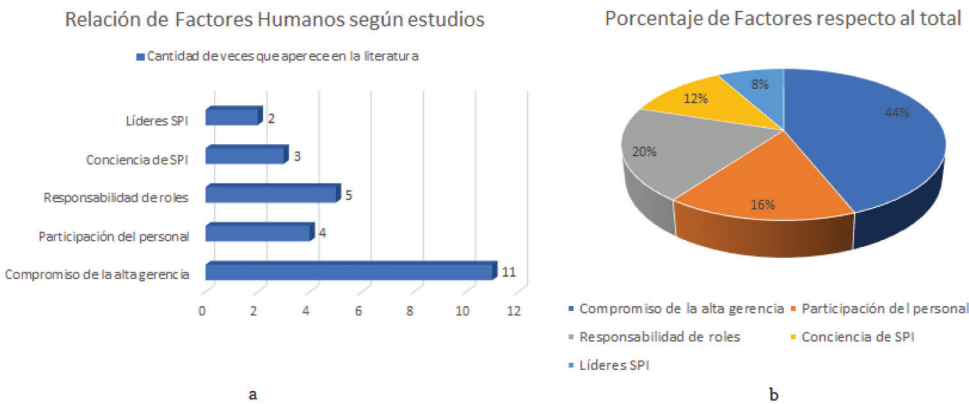


Figura 3 – Relación de los factores según su aparición en los estudios.

El factor humano al que más se hace referencia en los artículos obtenidos es el Compromiso de la alta gerencia, presente en 11 estudios lo que representa un 44 % del total de estudios. Seguido por el factor Responsabilidad de Roles presente en 5 estudios representado un 20 %, y de forma descendente, con diferencia de solo 1 artículo se encuentran Participación del personal, Conciencia de SPI y Líderes SPI presentes en 4, 3 y 2 representando el 16 %, 12 % y 8 % respectivamente.

5. Catálogo de Factores Humanos

Como se mencionó en la Sección 1, el presente trabajo reporta parte de la investigación de una tesis de maestría donde se propone un marco de trabajo para la mejora de procesos de software basado en CMMI. Este marco de trabajo tiene como foco proponer algunas recomendaciones para gestionar los factores humanos que afectan la mejora de procesos y de esta forma, contribuir a que dichos factores no perjudiquen los resultados de un proyecto de Mejora de Procesos.

Para conseguir lo anterior, se consideró la creación de un catálogo de factores humanos. Si bien es cierto en esta primera revisión sólo se identificaron 4 factores, dado que la investigación se encuentra en desarrollo, esta cantidad podría incrementarse, por lo cual, la estructuración de un catálogo facilita el almacenamiento y organización de los factores.

Los factores de éxito son elementos claves dentro de la mejora de procesos. A pesar de esto, existen pocos estudios donde explícitamente se hablan de ellos. La creación de un catálogo que incluye un instrumento para categorizar los factores humanos identificados, ayudará a que en una organización aplique iniciativas de mejoras de procesos más adecuada a su realidad.

Por ello si se cuenta con una herramienta que permita identificar dichos factores se posibilitará que el proceso a mejorar se estime y se valore con el objetivo de analizar qué tan probable sea el éxito del proceso que se quiera mejorar. En la literatura analizada existen diferentes herramientas que ayudan a mejorar los procesos que se desarrollan en una organización, sin embargo, ninguna menciona la idea de utilizar un catálogo de factores humanos. Es importante mencionar que un mismo factor puede influir positiva o negativamente en las iniciativas de mejoras de procesos, dependiendo de las características de la organización. Por otra parte, una vez generado el catálogo con sus factores humanos y su influencia se procederá a proponer una guía de recomendaciones para enfrentar los factores que influyen negativamente.

Encontrar una estructura para el catálogo que se desea realizar es compleja ya que hay muy pocos estudios que se relacionan con el tema que se investiga. En la Tabla 3 se propone la estructura de la información que representa cada factor con el objetivo de acotar el contexto del mismo.

De esta forma, el catálogo estaría conformado por un conjunto de “fichas” con el formato indicado en la Tabla 3. En esta ficha, los campos de Nombre del Factor y Descripción están incluidos con fines descriptivos. La Categoría, es un campo que aún no se ha decidido fehacientemente si se mantendrá o no. Por ahora se ha considerado, teniendo en cuenta que posiblemente un factor podría dividirse en subfactores. Esto se decidirá una vez que

esté más avanzada la investigación. En cuanto al campo “Influencia según contexto”, se refiere a que para cada factor se propondrá un instrumento que permita identificar cómo influye el mismo en la organización. Por ejemplo, para el factor “Participación del personal” es claro que mientras mayor sea la participación del personal, este factor influirá de manera positiva en el proyecto de mejora de procesos. Se indicó de manera genérica que se incorporará un instrumento, dado que pueden existir algunos factores en donde no sea tan evidente si su influencia es positiva o negativa.

En cuanto al último campo de relación con otros factores, se incluyó porque es importante tener una visión de las interrelaciones entre factores, de manera de evitar efectos no deseados al manipular algún factor.

Elemento	Descripción
Nombre del Factor	Nombre que recibe el factor en la MPS.
Descripción	Breve descripción del factor.
Categoría	Identifica el factor una categoría determinada.
Influencia según contexto	Instrumento que permita determinar para cada factor si influye positiva o negativamente según el contexto de la organización donde será aplicado.
Relación con otro factor	Relación en caso de que exista con otro factor o varios factores.

Tabla 3 – Estructura para la descripción de los Factores Humanos

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este artículo se ha identificado un conjunto de factores que están presentes en la mejora de procesos de software, según estudios previos desarrollados por diversos autores. Además, a partir de estos factores se procedió a identificar cuáles corresponden a factores humanos para luego presentarlos en un catálogo.

Este trabajo corresponde a una investigación realizada como parte de una tesis de maestría, que busca proponer un framework para gestionar los factores humanos que influyen en el éxito de los proyectos de mejora de procesos.

A partir de la revisión realizada, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

De los 15 Factores identificados en la literatura 5 corresponden a factores humanos.

El factor humano con mayor incidencia en la literatura corresponde al Compromiso de la Alta Gerencia.

Existe relación con los factores humanos entre ellos y con otros factores de éxito en la literatura.

Los factores humanos son críticos para el éxito de las iniciativas de MPS en las pequeñas empresas y estas son particularmente vulnerables a ellos, ya que por lo general dependen en gran medida de personal clave en dicha mejora.

Se obtiene un catálogo de factores que permite identificar características de los factores humanos.

Se cumple el resultado esperado, ya que se ha dado respuesta a las preguntas de investigación planteadas. Los factores humanos en la Mejora de Procesos de Software juegan un papel importante, pues a pesar de que estos son reconocidos en la literatura el poder identificarlos en un proyecto en particular en una organización dada, puede aumentar el éxito de aplicar una iniciativa de mejora debido a la relación que tienen con los otros factores.

Los resultados de este artículo son el punto inicial de la investigación del trabajo de tesis indicado previamente. Sin embargo, es importante mencionar que estos factores identificados pueden ser incrementados producto del desarrollo de las actividades que aún están pendientes.

Como trabajo futuro queda por desarrollar la propuesta de las rúbricas para evaluar cada factor identificado, proponer una guía de recomendaciones de cómo enfrentar los factores presentes y proponer una guía de uso del framework de las actividades que componen el marco de trabajo para la mejora de procesos de software basado en CMMI, que considera los factores humanos presentes en una organización.

Referencias

- Abdullah, M. S., Al- Tarawneh, M. Y., & Mat Ali, A. B. (2012). Software process improvement in small software development firms. *Global Journal on Technology*, 1, 782–787. Retrieved from <http://repo.uum.edu.my/12245/1/Soft.pdf>
- Albuquerque, R., Bibiano, A., Fernandes, R., Araújo, D., Malucelli, A., & Reinehr, S. (2013). The Influence of Human Aspects in Software Process Improvement: a Brazilian Public Company Study. In *The 2013 International Conference on Software Engineering Research and Practice* (pp. 1–6). Las Vegas, USA.
- Allison, I. (2010). Organizational factors shaping software process improvement in small-medium sized software teams: A multi-case analysis. In *Proceedings - 7th International Conference on the Quality of Information and Communications Technology, QUATIC 2010* (pp. 418–423). Porto, Portugal: IEEE. <https://doi.org/10.1109/QUATIC.2010.81>
- Baddoo, N., & Hall, T. (2002). Motivators of Software Process Improvement: an analysis of practitioners' views. *Journal of Systems and Software*, 62(2), 85–96.
- Bayona, S., Calvo-Manzano, J. A., & San Feliu, T. (2012). Critical success factors in software process improvement: A systematic review. In *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination* (pp. 1–12). Palma de Mallorca, Spain.
- Bunditwongrat, N. (2011). An empirical framework of key success factors for software process improvement. In *European Conference on Information Management & Evaluation* (Vol. 2008, pp. 82–91). London, UK.
- Casañola, Y. T., Febles Estrada, C. A., & León-Rodríguez, C. G. (2014). *Modelo Si.MPS. CU para valorar las organizaciones al iniciar la mejora de proceso de software*. Universidad de las Ciencias Informáticas.

- Cater-Steel, A., Toleman, M., & Rout, T. (2006). Process improvement for small firms: An evaluation of the RAPID assessment-based method. *Information and Software Technology*, 48(5), 323–334.
- Dyba, T. (2005). An empirical investigation of the key factors for success in software process improvement. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 31(5), 410–424.
- El Emam, K., Goldenson, D., McCurley, J., & Herbsleb, J. (1998). Success Or Failure?: Modeling the Likelihood of Software Process Improvement. In *International Software Engineering Research Network*. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.85.3045&rep=rep1&type=pdf>
- Espinosa-Curiel, I. E., Rodríguez-Jacobo, J., & Fernández-Zepeda, J. A. (2013). A framework for evaluation and control of the factors that influence the software process improvement in small organizations. *Journal of Software: Evolution and Process*, 25(4), 393–406.
- Galinac, T. (2009). Empirical evaluation of selected best practices in implementation of software process improvement. *Information and Software Technology*, 51(9), 1351–1364.
- Goldenson, D. R., & Herbsleb, J. D. (1995). After the Appraisal: A Systematic Survey of Process Improvement, its Benefits, and Factors that Influence Success. *Technical Report No. ISERN-98-15, International Software Engineering Research Network*. Retrieved from <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA300225>
- Habib, Z. (2009). *The critical success factors in implementation of software process improvement efforts: CSFs, motivators & obstacles*. (Master's thesis). University of Gothenburg, Sweden. Retrieved from https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/20519/1/gupea_2077_20519_1.pdf
- Hall, T., Rainer, A., & Baddoo, N. (2002). Implementing software process improvement: an empirical study. *Software Process: Improvement and Practice*, 7(1), 3–15. <https://doi.org/10.1002/spip.150>
- Horvat, R. V., Rozman, I., & Györkös, J. (2000). Managing the complexity of SPI in small companies. *Software Process: Improvement and Practice*, 5(1), 45–54.
- Khokhar, M. N., Zeshan, K., & Aamir, J. (2010). Literature review on the software process improvement factors in the small organizations. In *4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science (NISS), 2010* (pp. 592–598).
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews*. Keele, UK: Keele University.
- Lee, J.-C., Shiue, Y.-C., & Chen, C.-Y. (2016). Examining the impacts of organizational culture and top management support of knowledge sharing on the success of software process improvement. *Computers in Human Behavior*, 54, 462–474. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.08.030>

- Likert, R., & Gil Lasier, A. (1969). *El factor humano en la empresa*. Bilbao: Deusto. Retrieved from <https://books.google.cl/books?id=Nx2BQgAACAAJ>
- Lyons, P., & Walton, M. (2005). Australian Council for Safety and Quality in Health Care. National Patient Safety Education Framework bibliography. Canberra: Commonwealth of Australia.
- Matturro, G., & Saavedra, J. (2012). Factores que Inciden en la Mejora de Procesos Software. Un mapeo sistemático de la literatura. In XV Iberoamerican Conference on Software Engineering (pp. 84–97). doi: 10.13140/2.1.1051.8723
- Mejia, J., Muñoz, M., & Rocha, Á. (2014). La Mejora de Procesos de Software a través de la Gestión de Procesos, el Outsourcing y la Adopción de Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (SPE1), 1–5. <https://doi.org/10.4304/risti.e1.vii-xi>
- Niazi, M. (2015). A comparative study of software process improvement implementation success factors. *Journal of Software: Evolution and Process*, 27(9), 700–722. <https://doi.org/10.1002/smr.1704>
- Niazi, M., Wilson, D., & Zowghi, D. (2006). Critical success factors for software process improvement implementation: an empirical study. *Software Process: Improvement & Practice*, 11(2), 193–211.
- Nikitina, N., & Kajko-Mattsson, M. (2012). Factors leading to the success and sustainability of software process improvement efforts. *International Journal On Advances in Software*, 5(3–4).
- Passos, O. M., Dias-Neto, A. C., & da Silva Barreto, R. (2012). Assessing the relevance of organizational culture in software process improvement initiatives. In *15th Ibero-American Conference on Software Engineering* (pp. 70–83). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84886700751&partnerID=40&md5=a352207ad2518458f7ab3dcac1eca91a>
- Pekki, J. (2016). How the Company Manages Critical Success Factors in Software Process Improvement Initiatives: Pilot Case-Study in Finnish Software Company. In *European Conference on Software Process Improvement* (pp. 188–199).
- Pino, F. J., García, F., & Piattini, M. (2008). Software process improvement in small and medium software enterprises: a systematic review. *Software Quality Journal*, 16(2), 237–261.
- Rainer, A., & Hall, T. (2002). Key success factors for implementing software process improvement: a maturity-based analysis. *Journal of Systems and Software*, 62(2), 71–84.
- Rainer, A., & Hall, T. (2003). A Quantitative and Qualitative Analysis of Factors Affecting Software Processes. *The Journal of Systems and Software*, 66, 7–21.
- Savcenko, A., & Tanveer, B. (2009). *Software Process Improvement Success Factors - through Systematic Review and Industrial Survey*. (Master's thesis). Blekinge Institute of Technology, Sweden. Retrieved from <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:829951/FULLTEXT01.pdf>

- Stelzer, D. (1998). Success factors of organizational change in software process improvement. *Software Process: Improvement and Practice*, 8(4), 36–250. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1670\(199812\)4:4<227::AID-SPIP106>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1670(199812)4:4<227::AID-SPIP106>3.0.CO;2-1)
- Sulayman, M., Urquhart, C., Mendes, E., & Seidel, S. (2012). Software process improvement success factors for small and medium Web companies: A qualitative study. *Information and Software Technology*, 54(5), 479–500.
- Toapanta, H. M. C., Sinchiguano, B. E. O., & Jimenez, E. M. O. (2017). Mejora de procesos de software. *Revista Publicando*, 4(12 (1)), 68–88.
- Unterkalmsteiner, M., Gorschek, T., Islam, A. K. M. M., Chow Kian Cheng, Permadi, R. B., & Feldt, R. (2012). Evaluation and Measurement of Software Process Improvement—A Systematic Literature Review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 38(2), 398–424. <https://doi.org/10.1109/TSE.2011.26>
- Zahra, K., Azam, F., Ilyas, F., Faisal, H., Ambreen, N., & Gondal, N. (2017). Success factors of organizational change in software process improvement: A systematic literature review. In *Proceedings of the 5th International Conference on Information and Education Technology* (pp. 155–160).

Implementación del Estándar ISO/IEC 29110 en Centros de Desarrollo de Software de Universidades Mexicanas: Experiencia del Estado de Zacatecas

Mirna Muñoz¹, Jezreel Mejia¹, Claude Y Laporte²

mirna.munoz@cimat.mx, jmejia@cimat.mx, claudio.Laporte@etsmtl.ca

¹ Centro de Investigación en Matemáticas, Avda. Universidad no. 222, 98068, Zacatecas, México

² École de technologie supérieure, Department of Software and IT Engineering, 1100, Notre-Dame Street West, Montréal, Québec, Canada

DOI: 10.17013/risti.29.43-54

Resumen: Hoy en día las empresas muy pequeñas de desarrollo de software tienen una gran presencia en la industria del software en cualquier país, donde alrededor del 94% está formado por este tipo de empresas. Esta situación resalta la creciente necesidad de mejorar sus procesos de desarrollo de software que les permitan desarrollar productos y servicios de calidad. Para lograrlo se deben cumplir dos requisitos: (1) integrar una cultura de procesos y mejora continua en las organizaciones, y (2) dotar de personal altamente cualificado que tenga el conocimiento y habilidades para trabajar exitosamente con modelos y/o estándares utilizados en las organizaciones. Este artículo presenta la experiencia de la implementación del estándar ISO/IEC 29110 para reforzar el proceso de desarrollo de software de cuatro centros de desarrollo de software de universidades mexicanas como una solución para abordar con los dos requisitos previamente mencionados.

Palabras-clave: estándar ISO/IEC 29110; ingeniería de software; centro de desarrollo de software; empresas muy pequeñas; cultura de procesos.

Implementation of ISO/IEC 29110 in Software Development Centers from Mexican Universities: An experience of the Zacatecas State

Abstract: Nowadays the very small organizations of software development have a great presence in the software development industry, because in most countries about 94% is made up of very small organizations. This situation highlights the increasing need for improving their development software processes that allows them to develop quality products and services. To achieve it, two requirements should be covered: (1) integrate a process culture and continuous improvement in organizations and (2) provide high quality personnel with knowledge and abilities for working successfully under models and standards used in organizations. This paper presents an experience in the implementation of the ISO/IEC 29110 standard to reinforce the software development process of four software development

centers from mexican universities as a solution to cover the requirements before mentioned.

Keywords: ISO/IEC 29110 standard; software engineering; software development center; very small entities; process culture.

1. Introducción

Hoy en día la mayor parte del software a nivel mundial es desarrollado por empresas muy pequeñas, generando una gran oportunidad para este tipo de empresas (Muñoz, Negrón, Mejía, & Lopez, 2018), por lo tanto, dos principales desafíos en esta área que se hacen presentes son, por un lado, reforzarlas con el desarrollo de modelos y/o estándares ad hoc que cubran la creciente necesidad de apoyarlas en la implementación de buenas prácticas de ingeniería de software para el desarrollo de productos de calidad que les permitan mejorar su operación y sus procesos (Sánchez-Gordon, de Amescua, O'Connor, & Larrueca, 2017) (Larrucea, O'Connor, Colomo-Palacios, & Laporte, 2016). Por otro lado, que las universidades sean capaces de responder a las demandas de formación de personal altamente cualificado para el desarrollo de software de alta calidad (Muñoz, Peña, Mejía, & Lara, 2016).

Como una respuesta a esta necesidad surge el estándar ISO/IEC 29110, que lleva como título “*Ingeniería de software - Perfiles de ciclo de vida de entidades muy pequeñas*”, el cual comprende una serie de directrices e informes técnicos enfocados en apoyar a las empresas muy pequeñas a incrementar la calidad de sus productos y servicios, mientras incrementan su productividad y mejoran sus procesos con costos mínimos (Sánchez-Gordon et al., 2017) (Larrucea et al., 2016). Además de minimizar la brecha en el uso de buenas prácticas en empresas que carecen de conocimiento o experiencia práctica en la implementación de modelos de procesos y/o estándares (Laporte, Muñoz & Gerançon, 2017).

Este artículo presenta la experiencia en la implementación del estándar ISO/IEC 29110 en Centros de Desarrollo de Software (CDS) de Universidades del Estado de Zacatecas, México para reforzar el proceso de desarrollo de software. La finalidad de la implementación del ISO/IEC 29110 en las universidades es lograr que los estudiantes tengan experiencia en el uso de buenas prácticas en la realización de proyectos reales. Esta acción cubre los dos retos principales mencionados en (Muñoz et al., 2016) a los que se enfrentan los recién graduados al integrarse a la industria del software: 1) tener el conocimiento para trabajar con roles en el desarrollo de un proyecto, por ejemplo, gestores de proyecto, gestor de calidad o ser parte del equipo de desarrollo y 2) tener la experiencia de trabajar bajo modelos y estándares de calidad.

Después de la introducción el artículo está estructurado como sigue: en la sección 2 se describen conceptos clave, así como los antecedentes del trabajo presentado; en la sección 3 se muestra el proceso seguido para reforzar al CDS mediante la implementación del estándar ISO/IEC 29110 en los CDS's de las universidades; en la sección 4 se presentan los resultados en los 4 CDS's al implementar el estándar; y en la sección 5 se muestran las discusiones y conclusiones.

2. Antecedentes

2.1. Conceptos clave

1. *Centro de desarrollo de software (CDS)*: es un centro de trabajo dedicado al desarrollo de software, cuyo objetivo es aumentar la productividad, disminuir costos y elevar la calidad de productos y servicios ofrecidos a clientes, donde el desarrollo de software es realizado como un proceso industrial, esto es definible, repetible y medible en un entorno de alta productividad. En México, empresas como Softeck, Certum e IBM centro de diseño y desarrollo de software han implementado este tipo de centros de trabajo con resultados exitosos (Software Gurú, 2018).
2. *Estándar ISO/IEC 29110*: proporciona una serie de guías y directrices desarrollados para mejorar el proceso de desarrollo de software de las entidades muy pequeñas, ayudándolas en la implementación de buenas prácticas para la obtención de beneficios como incremento en la calidad del producto y/o servicio, reducción en tiempos de entrega y reducción en costos de producción (Laporte, et al., 2017).

Entre las principales características del estándar se pueden mencionar: (1) está compuesto por 4 perfiles (perfil de entrada, perfil básico, perfil intermedio y perfil avanzado) que pueden ser usados por las entidades muy pequeñas de acuerdo a sus objetivos; (2) comprende dos categorías de procesos, el proceso de gestión de proyectos y el proceso de implementación de software; (3) puede ser utilizado independientemente del enfoque de desarrollo o metodología utilizado y (4) proporciona un conjunto de elementos de proceso que facilitan su adopción como son objetivos, tareas, roles y productos de trabajo (Laporte, et al., 2017).

El perfil básico del estándar está compuesto por dos procesos: el proceso de Gestión de Proyectos (GP) y el proceso de Implementación de Software (IS) descritos a continuación. Además, en la Figura 1 se incluye una descripción global de su funcionamiento.

Los procesos abarcados en estándar ISO/IEC 29110 son dos (Laporte, et al., 2017), como a continuación se listan:

- *Proceso de gestión de proyectos*: establece y lleva a cabo tareas relacionadas con la gestión del proyecto de forma sistematizada, tal que, se cumpla con los objetivos del proyecto. Las actividades que contiene este proceso son cuatro: planificación del proyecto, ejecución del plan del proyecto, evaluación y control del proyecto, y cierre del proyecto.
- *Proceso de implementación de software*: ejecuta de manera sistematizada las actividades relacionadas con el desarrollo de software (análisis, diseño, construcción, integración y pruebas), todas de acuerdo a los requisitos especificados para el desarrollo de nuevos productos o la modificación de nuevos productos. Las actividades que contienen este proceso son seis: inicio, análisis, diseño, construcción, integración y pruebas, y entrega.

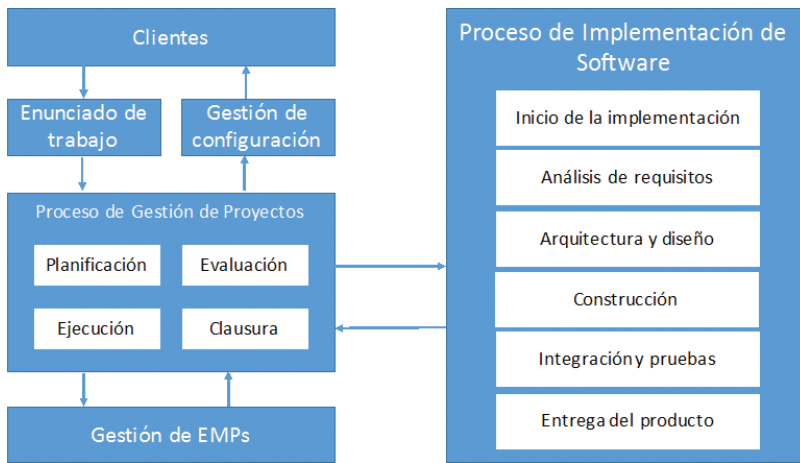


Figura 1 – Visión global de los procesos del ISO/IEC 29110 del perfil básico (Laporte et al., 2018)

Como se observa en la Figura 1, el enunciado de trabajo del cliente es el que se utiliza para iniciar el proceso de gestión de proyectos. El plan del proyecto es utilizado como guía para la ejecución de las actividades de análisis de requisitos, la arquitectura de software y diseño detallado, construcción del software, integración y pruebas de software y liberación producción. El proceso de gestión de proyectos, posteriormente, cierra las actividades de entrega de la configuración del software (que es, el conjunto de productos de software) y obtienen la aceptación del cliente para formalizar la finalización del proyecto.

Finamente, cabe resaltar que los procesos están definidos utilizando un conjunto de elementos del proceso que facilitan su implementación. La Tabla 1 presenta a manera de ejemplo el detalle en el que está definido cada actividad del proceso en la guía de gestión e ingeniería del perfil básico del software. Como se observa en la tabla, en la primera columna, se listan los roles que intervienen en la tarea que son el cliente (CUS) y el analista (AN); en la segunda columna, se describen las tareas; en la tercera columna, se lista los productos requeridos para ejecutar la tarea, y en la cuarta columna, se listan los dos productos de trabajo que se obtienen al ejecutar la actividad.

Roles	Lista de Tareas	Productos de trabajo de entrada	Productos de trabajo de salida
CUS AN	SI2.4 Validar y obtener aprobación de la especificación de requisitos. Validar que la especificación de requisitos las necesidades y expectativas convenidas. Los resultados encontrados se documentan en los resultados de validación de resultados y las correcciones son realizadas hasta que el documento se apruebe por el cliente	Especificación de requisitos (verificada)	Especificación de requisitos (validada) Resultados de la validación

Fuente: ISO/IEC Management and engineering guide: Generic profile group: Basic profile.

Tabla 1 – Ejemplo de una tarea de la actividad del análisis de requisitos (ISO, 2012)

Es importante mencionar que los procesos de gestión de proyectos e implementación de software definidos en la guía de gestión e ingeniería de software (ISO, 2012), pueden ser usados como procesos “tal cual” están definidos en pequeñas organizaciones que no tengan procesos establecidos.

3. *Entidades muy pequeñas*: puede ser una empresa pequeña, un área, un proyecto o un equipo de trabajo en una empresa grande que desarrollan software y que tienen hasta 25 personas (Laporte & O'Connor, 2016).

2.2. Antecedentes en México

México ha tenido una participación activa en modelos y estándares de calidad tanto en su desarrollo (modelo Moprosoft) como en su difusión (modelo CMMI-DEV y estándares ISO). Además, el gobierno mexicano ha establecido en su agenda nacional como una de las actividades reforzar a las empresas mexicanas para hacerlas competitivas a nivel internacional en este tipo de modelos y/o estándares (Laporte, et al., 2017).

Actualmente uno de los estándares adecuados para su implementación dentro de las muy pequeñas empresas de desarrollo de productos y/o servicios de software que representan en promedio el 90% en México es el estándar ISO/IEC 29110. Con respecto a este estándar, en el 2006 fue presentado por los delegados mexicanos el modelo Moprosoft al grupo de trabajo 24 (WG24, por sus siglas en inglés) de la ISO. Posteriormente, este grupo decidió la adaptación de Moprosoft para cubrir los aspectos de las empresas muy pequeñas, tomando como base para la creación del ISO/IEC 29110 (Laporte, et al., 2017).

En este contexto el gobierno del estado de Zacatecas, México, ha desarrollado una estrategia para incrementar la competitividad de las empresas que esté alineada a la agenda nacional definiendo dos actividades para lograr tal fin:

1. *Lograr que las empresas muy pequeñas incrementen el nivel de capacidad de sus procesos a nivel nacional*: esta actividad hace referencia al incremento de la capacidad de los servicios/productos TI mediante la adopción de modelos y estándares que sirvan como referencia para la adopción de buenas prácticas de ingeniería de software que apoyen a las organizaciones a incrementar la productividad y calidad de las organizaciones.
2. *Incrementar la calidad y cantidad de talento relacionado con el desarrollo de software y servicios de TI*: esta actividad hace referencia a disponibilidad de capital humano mejor preparado, tal que, se pueda aprovechar el crecimiento del sector TI tanto a nivel local, así como para acceder a mercados internacionales.

Este artículo está relacionado con la segunda actividad, ya que se enfoca en los CDS's de 4 Universidades de la región de Zacatecas, en las que se están formando ingenieros relacionados con el desarrollo de software.

3. Método Seguido para la Implementación del Estándar ISO/IEC 29110 en los Centro de Desarrollo de Software

Para llevar a cabo la implementación del estándar se definió un método de seis pasos como se menciona a continuación:

1. Formar a los CDS's en el ISO/IEC 29110 mediante la realización de workshops para la formación de los CDS's: por una parte, se desarrolló un workshop de concientización en el estándar, impartido por uno de los autores de este artículo. Además, los CDS's estuvieron en el curso de capacitación impartido por la empresa certificadora en el estándar.
2. Identificar y formalizar sus buenas prácticas: se realizó una reunión en la que el CDS mostró su forma de trabajo, tanto para el proceso de gestión de proyectos como para el proceso de implementación de software.
3. Identificar los principales problemas que tienen los CDS's en la ejecución de sus proyectos como normalmente lo realizan: se realizó una revisión de un proyecto del CDS en el que se identificaron "huecos" o incongruencias tanto en los procesos de gestión de proyectos como de implementación del software. Posteriormente, se preguntaron dudas sobre "huecos" en prácticas o documentos, teniendo retroalimentación de estos.
4. Mapear los procesos del CDS con los procesos del perfil básico del estándar ISO/IEC 29110: una vez identificadas las buenas prácticas se realizó una trazabilidad teniendo en cuenta elementos de proceso como: actividades, lista de tareas, productos de entrada y productos de salida. Además, cada producto de entrada y salida se trazó con un checklist de elementos de cada producto.
5. Seleccionar y adaptar prácticas proporcionadas por el estándar al contexto del CDS: resultado del mapeo y con base en el cumplimiento de los objetivos de cada proceso, se seleccionaron aquellas prácticas clave proporcionadas por el estándar, que reforzarían al CDS en el cumplimiento de los procesos.
6. Revisar el proyecto del CDS en el cual se estén implementando las prácticas del estándar, reportar las no conformidades identificadas y proporcionar retroalimentación: se mantuvieron reuniones para revisar las actividades implementadas para el proceso de gestión de proyecto e implementación de software para detectar las no conformidades relacionadas con lo requerido por el estándar.

Cabe resaltar que la ejecución de los pasos del 2 al 6 se llevaron a cabo en promedio 6 reuniones por CDS.

4. Resultados

Esta sección presenta los resultados de los 4 centros de desarrollo de software describiendo los beneficios detectados. Cabe resaltar que los 4 CDS's fueron sometidos a un proceso de certificación formal por parte de la empresa certificadora del estándar ISO/IEC 29110 en México, lográndose certificar en el mismo.

4.1. Centro de Desarrollo de Software de una Institución de Educación Superior del Sur del Estado de Zacatecas

Es un centro de desarrollo de software constituido dentro de una educación superior para el desarrollo de proyectos de software para clientes externos e internos a la institución.

Los equipos de desarrollo de proyectos están integrados por estudiantes y un profesor para el seguimiento del progreso del proyecto. Para el desarrollo de sus proyectos, los equipos siguen un proceso híbrido basado en CMMI y la metodología Scrum.

El proyecto en el cual se implementaron prácticas del ISO 29110 es un sistema de escritorio para la gestión de la operación y control de la información de un gimnasio, con la finalidad de hacer este proceso más eficiente.

Los beneficios detectados con la implementación de buenas prácticas sugeridas en el estándar se listan a continuación:

- La implementación de controles a través del proceso de desarrollo de software (CDS1-B1).
- Una mayor confianza de que se realiza la documentación requerida en un proceso de desarrollo (CDS1-B2).
- Una mayor confianza en la obtención de la aprobación de las partes interesadas sin asumir “cosas” en las que debe de haber un acuerdo (CDS1-B3).
- Una mejor gestión de los compromisos del equipo de desarrollo y el cliente (CDS1-B4).

4.2. Centro de Desarrollo de Software de una Universidad de Zacatecas

Es un centro de desarrollo de software constituido como parte de la universidad, cuyo objetivo es el desarrollo de proyectos de software para clientes externos e internos a la institución.

Los equipos que desarrollan los proyectos están integrados por un estudiante y un profesor, cuya tarea se enfoca en el seguimiento del progreso del proyecto. Cabe resaltar que, para el desarrollo de sus proyectos, los equipos siguen metodologías como TSP o Scrum dependiendo de las necesidades de control requeridas para el proyecto, así como las necesidades de control del cliente.

El proyecto en el cual se implementaron prácticas del estándar ISO 29110 es para la optimización de funcionalidad del sistema de calidad ambiental y sostenibilidad (DGCAMS) para la universidad.

Los beneficios detectados con la implementación de buenas prácticas sugeridas en el estándar se listan a continuación:

- La implementación de un estándar fácil de seguir para la gestión de un proyecto de desarrollo de software (CDS2-B1).
- La adopción de una forma estructurada para llevar a cabo un proceso de desarrollo de software que permite la mejora continua (CDS2-B2).
- El desarrollo de mínima documentación que facilitan tanto la gestión del proyecto como la documentación del software (CDS2-B3).
- Adopción de una mejor manera de controlar las versiones de un proyecto, con la implementación de un estándar de nomenclatura para la documentación de proyectos (CDS2-B4).
- Adopción de una forma estructurada de trabajar que facilita la sistematización de la ejecución del proceso (CDS2-B5).

4.3. Centro de Desarrollo de Software de una Institución de Educación Superior del Norte del Estado de Zacatecas

Es un centro de desarrollo de software constituido dentro de un instituto de educación superior para el desarrollo de proyectos de software para clientes externos e internos a la institución.

Los equipos de desarrollo de proyectos están integrados por estudiantes y uno o dos profesores para el seguimiento del progreso del proyecto. Para el desarrollo de sus proyectos, los equipos siguen la metodología Scrum.

El proyecto en el cual se implementaron prácticas del ISO 29110 es un sistema de control de inventarios.

Los beneficios detectados con la implementación de buenas prácticas sugeridas en el estándar se listan a continuación:

- Mejora en las actividades relacionadas con el monitoreo y control del proyecto (CDS3-B1).
- Mejora en la comunicación con el cliente mediante la firma de acuerdos y la adopción de buenas prácticas de la definición de instrucciones de entrega del producto (CDS3-B2).
- Mejora en la gestión de riesgos (CDS3-B3).
- Mejora en la gestión de requisitos de software (CDS3-B4).
- Mejora en el análisis y diseño de software (CDS3-B5).
- Mejora en las actividades relacionadas con la validación y verificación de elementos del proyecto, por ejemplo, las pruebas de software (CDS3-B6).

4.4. Spin-off de una institución de educación superior en la Ciudad de Zacatecas

Es un Spin-off constituido dentro de un instituto de educación superior para el desarrollo de proyectos de software para clientes externos e internos a la institución.

Los equipos de desarrollo de proyectos están integrados por estudiantes y un profesor para el seguimiento del progreso del proyecto. Para el desarrollo de sus proyectos, los equipos siguen la metodología Scrum.

El proyecto en el cual se implementaron prácticas del ISO 29110 es un sistema para gestión y control de un laboratorio de lenguajes.

Los beneficios detectados con la implementación de buenas prácticas sugeridas en el ISO/IEC 29110 se listan a continuación:

- Genera un proceso de mejora continua para la optimización de la calidad de los productos de software (CDS4-B1).
- Establecimiento de un conjunto de plantillas que ayudan en la implementación de un proceso de desarrollo de software en un tiempo más corto, que permite a los estudiantes avanzar más rápido en su proceso de aprendizaje (CDS4-B2).
- Desarrollo de una herramienta para la evaluación del estado de las actividades, que permite tener un mejor control de las actividades (CDS4-B3)

5. Discusión y Conclusiones

En (Muñoz et al., 2016b) se menciona un conjunto de deficiencias detectadas en 15 empresas pequeñas, cuando éstas contratan nuevo personal:

- *Deficiencias de conocimiento:* 14 mencionaron deficiencias en la gestión de proyectos; 12 mencionaron deficiencias en actividades relacionadas con el aseguramiento de calidad y 10 mencionaron deficiencias en el uso de modelos y estándares de calidad.
- *Deficiencias en habilidades:* la deficiencia mayormente mencionada esta relacionada con la toma de decisiones, seguida de falta de habilidades de gestión de riesgos y capacidades para resolver problemas y de trabajo en equipo.

De acuerdo con los beneficios identificados en el análisis de los 4 CDS's, estas deficiencias pueden ser fácilmente reducidas con la implementación del ISO/IEC 29110. En la Tabla 2 se muestra un análisis en el que se mapean deficiencias detectadas por las empresas, tanto deficiencias de conocimiento (DC), cómo deficiencias de habilidades (DH) y los beneficios obtenidos por los CDS's mediante la implementación del estándar (ver sección 4, subsecciones de 4.1 a 4.4).

Como se observa en la Tabla 2 al realizar la trazabilidad entre los tres elementos, las deficiencias detectadas en las empresas son cubiertas al implementar buenas prácticas de ingeniería de software enfocadas en la gestión de proyectos (proceso de gestión de proyectos) y el desarrollo de software (proceso de implementación de software), permitiendo además que los estudiantes desarrollen habilidades requeridas por la industria mexicana como son la toma de decisiones, gestión de riesgos, capacidad para resolver problemas y el trabajar en equipo.

Con base en los resultados antes mencionados, se puede concluir que el perfil básico del estándar ISO / IEC 29110 proporciona un estándar aceptado en la industria mexicana del software, dato que se confirma al revisar el padrón de empresas certificadas en el estándar ISO/IEC 29110 publicado por NYCE en (NYCE, 2011), donde se menciona que 31 de las 38 empresas certificadas en el estándar son mexicanas.

Este artículo presentó la experiencia de reforzar 4 CDS's utilizando tanto la metodología Scrum, como un proceso híbrido entre CMMI y Scrum, con la implementación del estándar ISO / IEC 29110.

Los resultados demuestran que con la implementación del estándar ISO/IEC 29110 es posible cubrir con los dos requisitos planteados en el resumen de este artículo. En primer lugar, la integración de una cultura de procesos y mejora continua en las organizaciones, ya que es fácilmente adaptable independientemente de la metodología o ciclo de desarrollo utilizado por la organización, además de promover la mejora continua.

En segundo lugar, es posible formar en las universidades personal altamente cualificado que tenga el conocimiento y habilidades para trabajar exitosamente con modelos y/o estándares utilizados en las organizaciones, ya que el CDS ofrece la oportunidad a los alumnos de la adopción, implementación y uso de buenas prácticas para el desarrollo de proyectos reales, desarrollando tanto conocimiento como habilidades para la gestión como para la implementación de software.

Deficiencias	Proceso ISO/IEC 29110	Beneficios
<i>DC1. Deficiencias en la gestión de proyectos</i>	Proceso de gestión de proyectos	- CDS1-B1, CDS1-B2, CDS1-B3, CDS1-B4 - CDS2-B3, CDS2-B4 - CDS3-B1, CDS3-B2, CDS3-B3 - CDS4-B2
<i>DC2. Deficiencias en el aseguramiento de calidad</i>	Proceso de gestión de proyectos	- CDS1-B2 - CDS2-B2 - CDS3-B6 - CDS4-B1
<i>DC3. Uso de modelos y estándares</i>	- Proceso de gestión de proyectos - Proceso de implementación del software	- CDS1-B1, CDS1-B2 - CDS2-B1, CDS2-B4 - CDS3-B4, CDS3-B5 - CDS4-B1
<i>DH1. Toma de decisiones</i>	Proceso de gestión de proyectos	- CDS1-B3 - CDS2-B4, CDS2-B5 - CDS3-B1, CDS3-B2 - CDS4-B3
<i>DH2. Gestión de Riesgos</i>	Proceso de gestión de proyectos	- CDS1-B4 - CDS2-B2 - CDS3-B3 - CDS4-B2
<i>DH3. Capacidad para resolver problemas</i>	- Proceso de gestión de proyectos - Proceso de implementación del software	- CDS1-B4 - CDS2-B4 - CDS3-B1 - CDS4-B3
<i>DH4. Trabajo en equipo</i>	Proceso de implementación del software	- CDS1-B3, CDS1-B4 - CDS2-B5 - CDS3-B4, CDS3-B5 - CDS4-B2, CDS4-B3

Tabla 2 – Mapeo entre deficiencias detectadas en empresas, proceso ISO/IEC 29110 que cubre esa deficiencia y los beneficios identificados en los 4CDS's

Las principales lecciones aprendidas identificadas a partir de la experiencia son:

- Iniciar el proceso identificando y formalizando las buenas prácticas tanto de gestión de proyectos como de implementación de software de los CDS's.
- Proporcionar soporte a los CDS's desde el principio de proceso de adopción del estándar ISO/IEC 29110 y hasta que obtuvieron la certificación.
- Mantener reuniones de seguimiento en las que se brindó retroalimentación a lo largo de todo el proceso.

- Proporcionar el soporte técnico disponible para los CDS's en cualquier momento que les surgían dudas o preguntas relacionadas con el estándar ISO/IEC 29110 o la implementación de alguna práctica.

Sin embargo, también se han identificado algunas oportunidades de mejora:

- Proporcionar capacitación centrada en la comprensión de la terminología del estándar ISO / IEC 29110.
- Desarrollar herramientas de software que proporcione soporte durante la capacitación estándar ISO / IEC 29110 y su implementación.

Referencias

- ISO. (2012). ISO/IEC TR 29110-5-1-2:2012 Software Engineering—Lifecycle Profiles for Very Small Entities (VSEs)—Parte 5-1-2: Management and Engineering Guide: Generic Profile Group: Basic Profile. Int'l Org for Standardization.
- Laporte, C. Y., Muñoz, M. & Gerançon, B. (2017). The education of students about ISO/IEC 29110 software engineering standards and their implementations in very small entities. In: IEEE Canada-International Humanitarian Technology Conference, July 20-21, 2017, Toronto, Ontario, Canada, pp. 94-98.
- Laporte, C. Y., Muñoz, M., Mejia, J. & O'Connor, R.V. (2018). Applying software engineering standards in very small entities- From Startups to Grownups. IEEE software, 35(1), 99–103.
- Laporte, C.Y. & O'Connor, R.V. (2016). Systems and software engineering standards for very small entities: accomplishments and overview. Computer, IEEE Computer society. 49(8), 84–87
- Larrucea, X., O'Connor, R. V., Colomo-Palacios & R., Laporte, C.Y. (2016). Software Process Improvement in Very Small Organizations. IEEE Software 33(2), 85–89.
- Muñoz, M., Peña, A., Mejia, J. & Lara, G. (2016). Coverage of the university curricula for the Software Engineering industry in Mexico. IEEE Latin America Transactions, 5(14), 2382–2388.
- Muñoz, M., Peña A., Mejia, J., & López, G. L. (2016). Actual State of the Coverage of Mexican Software Industry Requested Knowledge Regarding the Project Management Best Practices. Computer Science and Information Systems, 13(3), 849–873. Retrieved from: <https://doi.org/10.2298/CSIS160808040M>
- Muñoz M., Peña A., Mejia J., & Lopez G.L. (2018). ISO/IEC 29110 and curricula programs related to Computer Science and Informatics in Mexico: Analysis of practices coverage. In: Mejia J., Muñoz M., Rocha Á., Quiñonez Y., & Calvo-Manzano J. (eds). Trends and Applications in Software Engineering. CIMPS 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 688. Springer, Cham.
- NYCE. (2018). Compañías certificadas en el estándar ISO/IEC 29110-4-1:2011, recuperado de <https://www.nyce.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/PADRON-DE-EMPRESAS-CERTIFICADAS-ISO-IEC-29110-4-1.pdf>

Sánchez-Gordon, M-L., de Amescua, A., O'Connor, R.V. & Larrueca, X. (2017). A standard-based framework to integrate software work in small settings. *Computer Standars & Interfaces*, 54, (Part 3), 162–175.

Software Gurú (2008). Centro de Desarrollo de Software. Un Nuevo paradigma. [En línea]. Disponible en: <https://sg.com.mx/content/view/424>

Arquitectura basada en contexto para el soporte del servicio de VoD

Gabriel E. Chanchí G.¹, Wilmar Y. Campo M.², Jose L. Arciniegas H.³

gchanchi@unimayor.edu.co, wycampo@uniquindio.edu.co, jlarci@unicauca.edu.co

¹ Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Cra. 7 # 2-34, 190003, Popayán, Colombia.

² Universidad del Quindío, Cra. 15 ClI 12 norte, 630004, Armenia, Colombia.

³ Universidad del Cauca, Campus Tulcán, 190003, Popayán, Colombia.

DOI: 10.17013/risti.29.55-71

Resumen: A pesar de la amplia difusión del servicio de video bajo demanda (VoD), se destacan dos problemas principales a nivel funcional como son: permitir el acceso ágil al contenido multimedia y posibilitar el consumo adecuado de dicho contenido. Estos retos pueden ser abordados desde las diferentes dimensiones de la definición de contexto para servicios de telecomunicaciones (usuario, red, dispositivo, servicio), teniendo en cuenta tecnologías como los sistemas de recomendación basados en contexto en la dimensión de usuario y el streaming adaptativo DASH en la dimensión de red y del dispositivo. Así, este artículo propone una arquitectura basada en contexto para el servicio de VoD, la cual considera las diferentes dimensiones del contexto y es organizada en 4 vistas a saber: de negocio, de contexto, funcional y de implementación. Esta arquitectura pretende enriquecer la funcionalidad del servicio y contribuir con los dos retos principales del servicio de VoD.

Palabras-clave: Arquitectura; contexto; DASH; sistemas de recomendación; video bajo demanda.

Context-based architecture for VoD service support

Abstract: In spite of the wide diffusion of the service of video on demand (VoD), two main problems at functional level stand out: to allow the agile access to the multimedia content and to allow the adequate consumption of the contained content. These challenges can be addressed from the different dimensions of the context definition for telecommunications services (user, network, device, service), taking into account technologies such as context-based recommendation systems in the user dimension and adaptive streaming (DASH) in the network and device dimension. Thus, in this paper we propose a context-based architecture for the VoD service, which considers the different dimensions of the context and is organized into 4 views to know: business, context, functional and implementation. This architecture aims to enrich the functionality of the service and contribute to the two main challenges of the VoD service.

Keywords: Architecture; context; DASH; recommender systems; video on demand.

1. Introducción

En los últimos años, los proveedores de servicios de Internet han incrementado las velocidades de acceso a sus suscriptores. Estas mejoras en el ancho de banda han propiciado el aprovechamiento de estas redes para el consumo de servicios basados en transmisión de audio y vídeo, como es el caso del streaming (Campo, Arciniegas, García, & Melendi, 2010). A través del uso del streaming no es necesario que el cliente descargue toda la información para consumirla, ya que esta se va almacenando en un búfer y se ejecuta al mismo tiempo que se transmite (Mack, 2002).

Uno de los servicios cuya transmisión está soportada en streaming es IPTV, definida por la ITU-T como el envío de servicios multimedia de alta calidad a través de redes IP de banda ancha usando protocolos de streaming (ITU-T, 2008). Dentro de los servicios de distribución de contenidos multimedia, se destaca el servicio de video bajo demanda VoD (Pripuzic, et al., 2013), el cual consiste en una aplicación que espera, procesa y sirve peticiones de uno, o varios clientes. Para facilitar el acceso a los contenidos multimedia, este servicio provee un catálogo de contenidos, a través del cual el televidente navega, escoge y reproduce los contenidos multimedia (Campo, et al., 2010).

A pesar de las ventajas del servicio de VoD, existen un conjunto de problemas que dificultan la interacción del usuario, como son: el crecimiento de los catálogos de contenidos y los limitados métodos de entrada (control remoto) lo que incrementa el tiempo empleado por un usuario al navegar por estos catálogos, además se tiene la fluctuación del ancho de banda en el momento de reproducir el contenido multimedia y las diferentes características de los dispositivos que acceden al servicio (colores, codecs, resolución) (Dabrowski, Gromada, & Moustafa, 2012) (Song, Moustafa, & Afifi, 2011) (Turrin & Cremonesis, 2010). Las anteriores problemáticas pueden clasificarse dentro de dos retos principales para el servicio de VoD: facilitar el acceso ágil y permitir consumo adecuado del contenido multimedia en el entorno de televisión.

Con respecto al primer reto del servicio de VoD, surgen los sistemas de recomendación (Dabrowski, et al., 2012) (Song, et al., 2011), los cuales son agentes encargados de identificar las preferencias de un usuario, para guiarlo de forma personalizada en el proceso de escogencia de un ítem a partir de muchas opciones (Jannach, Zanker, Felfernig, & Friedrich, 2010) (Yager, 2003). De acuerdo con la literatura, estos se dividen en 2 enfoques clásicos (Jannach, et al., 2010) (Yager, 2003) (Porcel, López-Herrera, & Herrera, 2009) (Porcel, Moreno, & Herrera, 2009) (Porcel, Tejeda, Martínez, & Herrera, 2012) (Zanker, Klagenfurt, Jannach, Gordea, & Jessenitschnig, 2007) (Melville, Mooney, & Nagarajan, 2002): los basados en filtros de contenidos y los basados en filtros colaborativos, los cuales se encargan de recomendar contenidos de acuerdo al perfil del usuario o a partir de un conjunto de usuarios con un perfil similar. Estos dos enfoques tienen como dificultad común el problema de arranque en frío (Turrin & Cremonesis, 2010) (Jannach, et al., 2010) que implica que el sistema no tenga contenidos para recomendar en estados preliminares. Como alternativa a este problema, se destacan los sistemas de recomendación basados en contexto, los cuales hacen uso de variables del contexto de usuario para inferir información de interés en estados preliminares.

Con respecto al segundo reto del servicio de VoD, surge la técnica conocida como streaming adaptativo, especificada por el 3GPP como Adaptive HTTP Streaming (AHS)

(Arzelier, 2017), la cual consiste en cortar un archivo multimedia en segmentos de igual duración que pueden ser codificados en diferentes resoluciones y tasas de bits, que son suministrados a un servidor web para descargarse vía HTTP. Con el fin de establecer la relación entre tasas de bits, segmentos y el orden de los mismos, AHS hace uso del archivo Media Presentation Description (MPD), el cual contiene una descripción formal sobre una colección de datos, que representan las características técnicas del contenido (ISO/IEC 23009-1:2012, 2014).

La industria ha desplegado varias soluciones propietarias de streaming adaptativo, como las descritas en (Zambelli, 2009) (Adobe, 2012). Dichas soluciones tienen como inconveniente el empleo de técnicas propias de segmentación, generación de secuencia de tiempo y creación de formatos MPD (Ortiz, Chanchí, Arciniegas, & Duran, 2017), lo cual impide la compatibilidad a la de construir o consumir servicios de video. Para lograr la entrega eficiente de contenidos utilizando HTTP en sus diferentes formas: adaptativa, progresiva, streaming/descarga, así como garantizar la interoperabilidad entre las soluciones propietarias, MPEG (Moving Picture Expert Group) desarrolló Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) (ISO/IEC 23009-1:2012, 2014). Según (Casín, 2013), DASH se puede definir como un sistema por el cual se proporcionan formatos, que habilitan la entrega eficiente y de alta calidad de servicios de streaming, permitiendo las siguientes ventajas (Gambín, 2012): reutilización de la tecnología existente, despliegue sobre HTTP, menor tiempo de arranque, selección de la calidad en función de la red y las características del dispositivo, cambios entre calidades transparentes al usuario y coexistencia con tecnologías propietarias.

Las alternativas a los retos del servicio de VoD, pueden enmarcarse en la definición del contexto en el ámbito de las telecomunicaciones, el cual es entendido como cualquier información, que puede usarse para caracterizar la situación de una entidad relacionada con el servicio, siendo una entidad cualquier elemento que incide en la interacción entre el usuario y el servicio (Dabrowski, et al., 2012). Así, en el ámbito de IPTV el contexto tiene cuatro dimensiones: usuario, dispositivo, red y servicio, cada una de las cuales tiene asociadas un conjunto de variables que pueden incidir en la interacción entre el usuario y el servicio (Dabrowski, et al., 2012) (Thawani, Gopalan, & Sridhar, 2004) (Chen & Kotz, 2000). En el caso del primer reto correspondiente a facilitar el acceso ágil, variables del contexto de usuario pueden ser utilizadas para inferir información como el estado de ánimo, la actividad diaria, que contribuyan con el problema del arranque en frío de los sistemas de recomendación clásicos, mejorando así la precisión de los mismos. Con respecto al segundo reto, variables como el ancho de banda y la resolución del dispositivo de acceso pueden considerarse a través de DASH, con el fin de mejorar los problemas de fluctuación de ancho de banda y acceso al servicio desde diferentes dispositivos.

Este artículo propone una arquitectura basada en contexto para abordar los dos principales retos del servicio de VoD. Esta arquitectura incluye las diferentes dimensiones del contexto (usuario, red, dispositivo y servicio) haciendo uso de sistemas de recomendación basados en contexto y streaming DASH. A través de los sistemas de recomendación basados en contexto se pretende considerar el contexto de usuario, aportando así al reto de facilitar el acceso ágil al contenido multimedia. De igual forma, mediante el DASH se busca abordar el contexto de red y dispositivo, aportando al reto de permitir el consumo adecuado de contenido.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se describen los trabajos relacionados con la presente investigación. En la sección 3 se muestra la propuesta arquitectónica abordada en este artículo. En la sección 4 se describe un servicio de VoD implementado a partir de la arquitectura propuesta. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Trabajos relacionados

En esta sección se describen un conjunto de trabajos relacionados con la presente investigación, los cuales se han organizado en tres temáticas: arquitecturas basadas en contexto, sistemas de recomendación basados en contexto, y entornos de streaming adaptativo DASH.

2.1. Arquitecturas basadas en contexto

En (da Silva, Alves, & Bressan, 2009) los autores presentan una arquitectura para el soporte de recomendaciones personalizadas basadas en contexto, sobre entornos de Televisión Digital Interactiva (TDi) soportados en los mediadores DVB-MHP y GINGA con el objeto de mejorar el servicio de guía interactiva EPG. En (Dabrowski, et al., 2012) se presenta una arquitectura para el soporte de servicios personalizados en el ámbito de IPTV, considerando características del contexto del usuario, del dispositivo de acceso, de la red y de los servicios interactivos. La arquitectura busca responder a la necesidad de servicios personalizados, como una alternativa al crecimiento de los catálogos de contenidos multimedia. En (Thawani, et al., 2004) se presenta una arquitectura para la selección e inserción de anuncios publicitarios basados en el contexto, sobre escenarios de TDi. El objetivo de la arquitectura es permitir la personalización de los anuncios, de acuerdo a las preferencias de usuario, estos últimos obtenidos mediante reglas de inferencia aplicadas a las variables del contexto, aportando importantes conceptos en cuanto al manejo de reglas de inferencia sobre el contexto. En (Song, et al., 2011) los autores presentan una arquitectura para servicios personalizados de IPTV, la cual se enmarcan dentro del dominio NGN IPTV. La arquitectura planteada busca responder a la necesidad de filtrar el contenido y los servicios adecuados de acuerdo al perfil del usuario.

Los trabajos anteriores no han sido desplegados en escenarios móviles, de este modo, estos trabajos consideran como información del contexto: la hora, la distancia al STB (Set Top Box) y el historial del usuario (Dabrowski, et al., 2012) (Song, et al., 2011) (da Silva, et al., 2009), lo cual limita la precisión de los contenidos presentados por los sistemas de recomendación vinculados a la arquitectura. Así, estas arquitecturas, no consideran variables de tipo fisiológico en el contexto. Con respecto a la dimensión de red, esta es abordada en (Dabrowski, et al., 2012) (Song, et al., 2011), a través de un conjunto de sensores software distribuidos sobre la red, de tal forma que en ninguno de los 2 casos se hace uso de DASH. En lo que se refiere al contexto desde la dimensión del dispositivo de acceso, tanto en (Dabrowski, et al., 2012) como en (Song, et al., 2011) se tienen en cuenta características básicas del STB, con el fin de determinar los codecs adecuados para la reproducción del contenido multimedia.

2.2. Sistemas de recomendación basados en contexto

En (Wang, Rosenblum, & Wang, 2012) se presenta un sistema de recomendaciones de contenidos musicales para entornos móviles basado en filtros colaborativos, el cual hace uso de información obtenida a partir del contexto (clima, posición, hora), que es usada para filtrar el contenido multimedia a recomendar. En (Park, Yoo, & Sung-Bae, 2006) se propone un sistema de recomendación híbrido para contenidos multimedia musicales, el cual tiene en cuenta información del contexto de usuario, obtenida a partir de sensores y diversas fuentes de internet. Dentro de las variables obtenidas se encuentran: temperatura, humedad, ruido, clima, hora y estación. En (Rho, Han, & Hwang, 2009) se presenta un sistema de recomendaciones basado en contexto para contenidos multimedia musicales, teniendo en cuenta el estado de ánimo del usuario.

En (Su, Yeh, Yu, & Tseng, 2010) se propone un sistema de recomendaciones ubicuo, para contenidos multimedia musicales, el cual tiene en cuenta información del contexto de usuario y de los demás usuarios del servicio de música bajo demanda. En (Cunningham, Caulder, & Grout, 2008) se propone un sistema basado en contexto, para la generación de listas automáticas de reproducción de contenidos multimedia musicales. La información del contexto es obtenida a partir de dos fuentes principales: el usuario y el entorno donde el usuario escucha la música. En (Pripuzic, et al., 2013) se plantea un sistema de recomendaciones para contenidos multimedia, del servicio de video bajo demanda (VoD) de IPTV. En (Zhang & Zheng, 2005) se presenta un sistema de recomendaciones, para contenidos multimedia de televisión digital, los cuales son descritos mediante el esquema de metadatos TV-Anytime. El sistema de recomendaciones desarrollado en este trabajo fue evaluado bajo una arquitectura del mediador DVB MHP. En (Turrin & Cremonesis, 2010) se describen los problemas de la TDi relacionados con el número de canales existentes y el tiempo del zapping. Además, se plantean los sistemas de recomendación de contenidos como posible solución a estas falencias, proponiendo una arquitectura base para el diseño estos sistemas.

En (Melville, et al., 2002) se presentan las ventajas y desventajas de los sistemas de recomendación basados en las dos aproximaciones clásicas: filtros de contenidos y filtros colaborativos. Los autores diseñan e implementan un recomendador híbrido, el cual combina la técnica de predicción probabilística del clasificador de Naive Bayes, con el algoritmo del vecindario usado en filtros colaborativo. En (Asanov, 2011) se exponen las técnicas, métodos, algoritmos y problemáticas, consideradas en la construcción de sistemas de recomendación tradicionales y modernos. En (Chanchí, Campo, Amaya, & Arciniegas, 2011) los autores proponen un esquema para el consumo de servicios interactivos de la Web 2.0 (foros, micro-blog, chats), sobre diversos entornos como la televisión digital terrestre la televisión móvil e IPTV.

Los trabajos anteriores presentan tanto aproximaciones clásicas de sistemas de recomendación de contenidos de televisión (Pripuzic, et al., 2013) (Turrin & Cremonesis, 2010) (Melville, et al., 2002) (Zhang & Zheng, 2005) (Asanov, 2011), como recomendadores basados en contexto para contenidos musicales (Wang, et al., 2012) (Park, et al., 2006) (Su, et al., 2010). Con respecto al primer caso, una de las limitaciones para no vincular el contexto a las recomendaciones es la dificultad para acceder a variables externas, por no ser desplegados los sistemas propuestos en estos

trabajos en escenarios móviles. En el segundo caso, los recomendadores considerados no están enmarcados en entornos de televisión, ni trabajan con contenidos multimedia de video. Así mismo, estos sistemas de recomendación no consideran dentro del contexto variables asociadas al espacio corporal del usuario o también conocidas como variables fisiológicas (ritmo cardíaco, conductividad de la piel, expresión facial, entre otras), las cuales pueden reflejar información más precisa acerca de las necesidades emocionales de un usuario. A pesar de esto, los métodos usados en cuanto a clasificación e inferencia de contenidos multimedia a partir de variables locales (ubicación, hora, temperatura, etc.), pueden ser tenidos en cuenta en el manejo de variables del contexto para contenidos multimedia de video sobre IPTV. En ninguno de estos trabajos, el entorno usado para la difusión de contenidos multimedia tiene en cuenta las características de la red ni las de los dispositivos de acceso.

2.3. Entornos de streaming adaptativo DASH

En (Li & Bouazizi, 2013) se proporcionan bases esenciales para conocer las diversas capacidades y la flexibilidad que ofrece el estándar MPEG-DASH para vincular servicios adicionales. En (Muller, et al., 2013) los autores explican cómo los proveedores de contenidos multimedia adaptativo: Netflix y YouTube no despliegan su propia arquitectura de streaming, pero ofrecen sus servicios OTT (Over-The-Top), basándose en el uso de la infraestructura de HTTP. Este artículo describe un conjunto de herramientas del lado del servidor y del lado del cliente, para la codificación y recepción de contenidos multimedia adaptativos, soportados en el estándar MPEG-DASH. En (Timmerer & Griwodz, 2012) se presenta una guía sobre el despliegue de la tecnología de streaming adaptativo a través de HTTP, teniendo en cuenta la creación de contenidos, la entrega, el consumo y la evaluación de los mismos, con respecto a las soluciones propietarias.

Los anteriores trabajos presentan un conjunto de herramientas para la codificación, difusión y consumo de streaming adaptativo, basado en DASH. Sin embargo, ninguno de estos trabajos plantea un servicio de video bajo demanda soportado en la tecnología de streaming adaptativo DASH.

3. Propuesta de la arquitectura

Esta sección presenta la propuesta de la arquitectura para el servicio de VoD, la cual es descrita desde cuatro vistas a saber: vista de contexto, vista de negocio, vista funcional y vista de implementación. Esta arquitectura fue escogida para ser presentada en vistas tomando las ideas del modelo de vistas arquitectónicas 4+1 de Kruchten (Kruchten, 1995), definiendo y personalizando las vistas más representativas para el servicio de VoD. La arquitectura se diseñó a partir de un conjunto de consideraciones extraídas de la revisión literaria, ver figura 1.

La arquitectura para el servicio de VoD en sus vistas debe considerar la definición del contexto en sus diferentes dimensiones, con el fin de enriquecer y mejorar la percepción del usuario con respecto al servicio. Así, desde la dimensión de red y dispositivo se debe aportar al reto de permitir el consumo adecuado del contenido, usando el estándar DASH, considerando que este estándar permite la adaptación de los contenidos al ancho de banda de la red y a las características de los contenidos. Del mismo modo, desde la

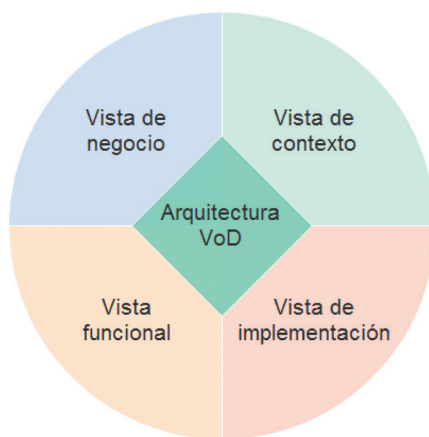


Figura 1 – Vistas de la arquitectura

dimensión de usuario se debe aportar al reto de garantizar el acceso ágil al contenido multimedia, considerando los sistemas de recomendación basados en contexto, dado que estos contribuyen a mejorar el problema de arranque en frío y la precisión de las recomendaciones.

3.1. Vista del negocio

En el presente trabajo, la vinculación del contexto al servicio de VoD en sus diferentes dimensiones: usuario, red y dispositivo implica un cambio en las tareas realizadas en los eslabones de la cadena de valor tradicional del servicio, específicamente en los dominios de proveedor de servicio y consumidor. En la figura 2, se presentan cada una de las tareas propuestas para cada uno de los eslabones de la cadena de valor del servicio, incluyendo las del servicio tradicional de VoD.

En el dominio del proveedor de contenido se conservan las tareas de producción y edición del contenido, así como la generación de metadatos. En el dominio del proveedor del servicio se incluyen las tareas de generación del contenido multimedia DASH (codificación, segmentación y generación de descriptores), así como las tareas de análisis e inferencia de emociones a partir de las variables fisiológicas capturadas y la recomendación de contenidos de acuerdo a la emoción inferida según las variables de contexto. En el dominio del proveedor de red se conservan las tareas de distribución del contenido multimedia y gestión de la comunicación extremo a extremo. Finalmente, en el dominio del consumidor se incluyen las tareas de captura de las variables del contexto de usuario, las cuales permiten el análisis e inferencia de emociones. Así mismo, en este dominio se realizan las tareas de estimación del ancho de banda, interpretación de los descriptores asociados a cada contenido multimedia musical y reproducción del contenido. Por lo tanto, en el lado del cliente ante cualquier variación del ancho de banda, se puede acceder a un segmento determinado de contenido multimedia codificado según el estándar DASH.



Figura 2 – Vista del negocio

3.2. Vista del contexto

Considerando las problemáticas del servicio de VoD, la arquitectura basada en contexto pretende abordar los dos principales retos del servicio, mediante el uso de los componentes arquitectónicos de sistemas de recomendación y streaming DASH, los cuales se enmarcan en las dimensiones del contexto de usuario, red y dispositivo, ver figura 3.

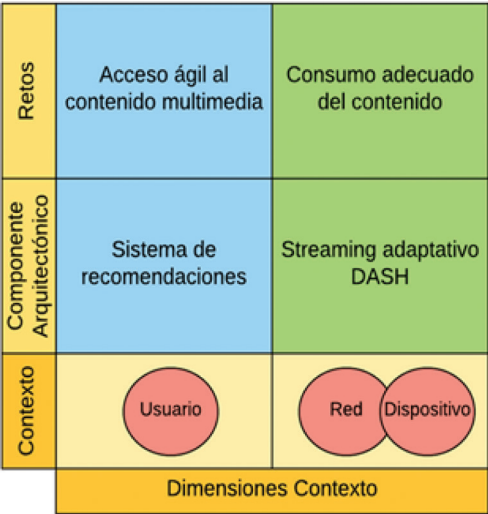


Figura 3 – Vista del negocio

Mediante el componente de recomendaciones, el cual se enmarca en la dimensión del contexto de usuario, la arquitectura pretende aprovechar variables de tipo fisiológico del usuario, para a partir de ellas inferir una posible emoción de entrada, la cual pueda ser usada para recomendar un conjunto de contenidos musicales previamente clasificados a nivel emocional. Así, se busca mejorar la precisión de las sugerencias de contenidos aportadas por los sistemas de recomendación clásicos, las cuales se centran en las valoraciones de los usuarios, de tal modo que a partir del análisis de variables de tipo fisiológico se puedan generar recomendaciones acordes con las necesidades emocionales de un usuario. Del mismo modo, la vinculación de variables del contexto tiene por objetivo aportar a la solución del problema de arranque en frío. Por su parte, los contenidos multimedia musicales de video se escogieron, teniendo en cuenta la facilidad que tiene la música a través de sus propiedades musicales (arousal, valence, tempo, etc) para ser asociada con las emociones. A pesar de lo anterior, puede usarse cualquier otra aproximación dentro de la computación afectiva que permita clasificar la información de un video (texto, audio, imágenes) dentro de los modelos de emociones convencionales.

Mediante el componente de streaming DASH, el cual se enmarca en las dimensiones del contexto de red y dispositivo, la arquitectura pretende aprovechar las ventajas provistas por DASH, para distribuir contenidos multimedia que se adapten a las características de la red y del dispositivo de acceso. Así, los contenidos multimedia se segmentan, se codifican y describen mediante un archivo MPD en el lado del servidor, de modo que, ante cualquier variación en el ancho de banda detectado en el lado del cliente, se pueda acceder a un determinado segmento del contenido.

3.3. Vista funcional

En esta sección se presentan los diferentes componentes funcionales de la arquitectura de VoD, los cuales fueron obtenidos a partir de la vinculación de las dimensiones del

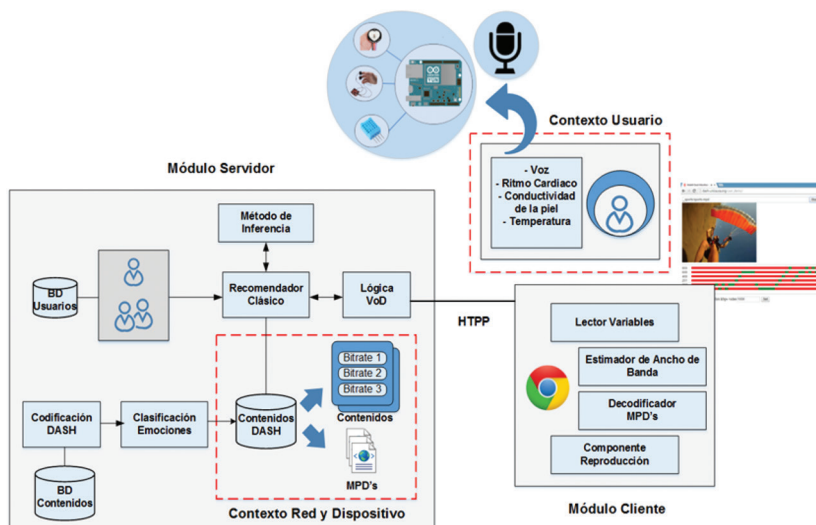


Figura 4 – Vista funcional

contexto de usuario, dispositivo y red al servicio, ver figura 4. Esta vista funcional de la arquitectura está basada en el modelo cliente-servidor, teniendo en cuenta que la distribución de los contenidos se basa en DASH, es decir que tanto la entrega de los contenidos como la lógica del negocio del servicio son vía HTTP.

El módulo del cliente tiene un sub-módulo denominado: “Lector de variables”, el cual tiene asociado a un dispositivo wearable abierto de captura. Este sub-módulo se encarga de obtener desde el dispositivo cliente, las variables fisiológicas del usuario, las cuales son usadas en el lado del servidor para inferir una emoción de entrada, que a su vez posibilita la recomendación de contenidos musicales de video previamente clasificados según un modelo de emociones. Dentro de las variables de entrada, es posible considerar la voz, la variación de la frecuencia cardiaca, la conductividad de la piel, etc. Adicionalmente, en el lado del cliente se cuenta con el sub-módulo “Estimador de ancho de banda”, el cual cumple la función de obtener el ancho de banda disponible en el lado del cliente, para a partir de este acceder al segmento de contenido codificado correspondiente a dicho ancho de banda. La información de los segmentos y su relación con los diferentes anchos de banda, se encuentra consignada en el archivo descriptor MPD de cada contenido, razón por la cual el sub-módulo “Decodificador de MPDs”, interpreta estos descriptores, para así obtener el segmento de contenido adecuado para el ancho de banda estimado y proceder con la reproducción del mismo. Adicionalmente, tanto los procesos de captura de variables del contexto y estimación de ancho de banda, se realizan de manera constante con el fin de actualizar el listado de recomendaciones y adaptar el contenido multimedia a los cambios de la red.

El módulo del servidor tiene asociado un sub-módulo denominado: “Lógica VoD”, el cual gestiona la lógica del servicio. Dentro de las funciones de este sub-módulo, se encuentra la recepción de las variables del contexto a partir del cliente, las cuales son enviadas al sub-módulo “Método de Inferencia” para la obtención de una emoción de entrada. Esta emoción de entrada es usada para realimentar las sugerencias generadas por el sub-módulo “Recomendador Clásico”, que a su vez son obtenidas por un clasificador que hace uso del perfil de usuario, así como de las valoraciones y las características musicales de los contenidos multimedia. De este modo, el sub-módulo de “Recomendador Clásico” en conjunto con el sub-módulo “Método de Inferencia” conforman el recomendador basado en contexto.

A partir del listado de sugerencias del recomendador basado en contexto, el usuario puede escoger un contenido multimedia musical de video del catálogo de contenidos. Cada contenido del catálogo ha sido previamente adecuado al formato del estándar DASH y clasificado según un modelo de emociones, por sus características musicales. Para realizar la adecuación del contenido multimedia al formato DASH, se hace uso del submódulo “Codificación DASH”, el cual se encarga de realizar las tareas de codificación, segmentación y generación de descriptores para cada contenido multimedia. En lo que respecta a la clasificación del contenido, el sub-módulo “Clasificación Emociones”, cumple con la función de extraer las características musicales de los contenidos multimedia musicales, para a partir de estas clasificar el contenido según un modelo de emociones. Cabe mencionar, que en el presente artículo se hizo uso de contenidos multimedia musicales, dado que permiten extraer de manera más sencilla las características musicales de arousal y valence, las cuales son usadas para para clasificar el contenido

multimedia dentro del modelo de emociones propuesto. Finalmente, los contenidos multimedia que pasan el proceso de codificación y clasificación, son dispuestos en un dataset de contenidos.

3.4. Vista de implementación

En esta sección se presentan los componentes hardware y software escogidos para la implementación de la arquitectura del servicio de VoD, ver figura 5, los cuales están enmarcados en una arquitectura cliente-servidor. En el módulo del cliente, el usuario tiene adherido a su espacio corporal un conjunto de dispositivos wearables, los cuales permiten la obtención de variables del contexto que son empleadas para inferir una emoción de entrada al sistema, así como realizar un seguimiento sobre los cambios emocionales de un usuario. En el caso de la presente arquitectura, la información del contexto es obtenida mediante la tarjeta compatible con internet de las cosas Arduino Yun, en conjunto con los sensores para la obtención de variables fisiológicas. De igual manera, en el lado del cliente se cuenta con un conjunto de dispositivos de acceso al servicio de VoD. Lo anterior es posible teniendo en cuenta que el servicio ha sido desplegado en un escenario web y cuenta con el soporte del estándar DASH.

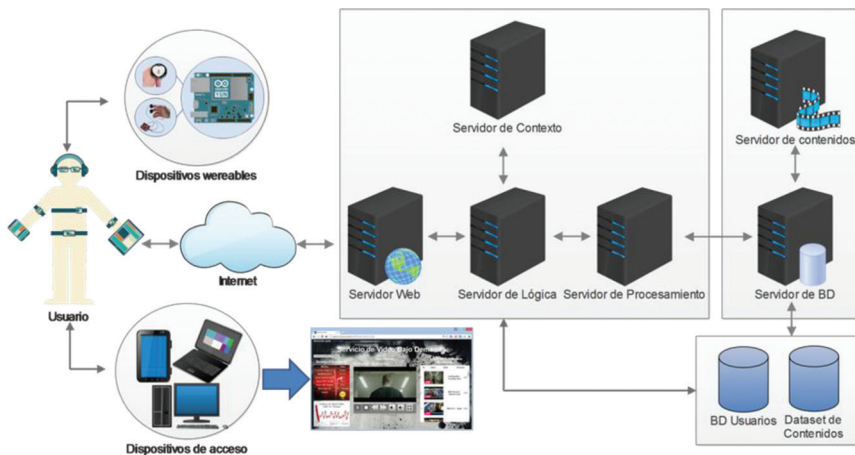


Figura 5 – Vista de implementación

En el módulo del servidor por su parte, se cuenta con un servidor web el cual se encarga de recibir y procesar las peticiones por parte del usuario y enviarlas al servidor de lógica que cumple la función de gestionar la lógica del servicio. Estos dos módulos son componentes conceptuales que están implementados a través de la herramienta (Apache). El servidor de lógica hace uso de un servidor de contexto, el cual se encarga de procesar la información de contexto obtenida en el módulo del cliente, para inferir la emoción percibida por el usuario en un determinado momento. El servidor de contexto fue implementado mediante el framework web Flask, el cual permite el rápido despliegue de servicios en línea mediante el lenguaje Python. De la misma manera, el servidor de

lógica hace uso de un servidor de procesamiento, el cual cumple con la función de generar el listado de recomendaciones basadas en contexto a partir de la emoción inferida por el servidor de contexto. Para realizar el proceso anterior, el servidor de procesamiento, hace uso del framework web Spark Java y la API de la herramienta de minería de datos Weka. El framework Spark de Java, el cual brinda la facilidad para la construcción y despliegue rápido de servicios de telecomunicaciones. De igual modo, para la generación del listado de recomendaciones, el servidor de procesamiento consulta la base de datos de usuario y el dataset de contenidos multimedia, los cuales son gestionados por el gestor de bases de datos MySQL. El dataset de contenidos multimedia también fue generado en un formato portable como JSON, mediante el uso de la base de datos no-sql TinyDB. Este dataset contiene el listado de contenidos multimedia disponibles y el conjunto de propiedades musicales asociadas a cada uno de ellos, mediante las cuales es posible relacionar un contenido multimedia con una emoción.

Finalmente, el servidor de contenidos multimedia es un componente cuyo propósito es almacenar los contenidos multimedia que son reproducidos en el lado del cliente. Estos contenidos son codificados en diferentes calidades de acuerdo al estándar DASH y tienen asociado un descriptor MPD, con la relación de segmentos de contenido y anchos de banda. Este componente también incluye una herramienta de codificación de contenidos DASH, la cual realiza los procesos de codificación, segmentación y generación del archivo descriptor MPD de manera off-line.

4. Prototipo del servicio de VoD

A partir de las diferentes vistas de la arquitectura, en esta sección se presenta un prototipo de servicio de VoD construido a partir de dicha arquitectura, ver figura 6. El prototipo tiene por objetivo proveer un servicio de VoD de contenidos multimedia musicales los cuales al ser consumidos se adaptan a las características de la red y del dispositivo. Así mismo el servicio cuenta con un sistema de recomendaciones cuyas sugerencias son generadas a partir del perfil emocional del usuario, el cual es determinado mediante el seguimiento de variables fisiológicas.



Figura 6 – Validación inicial del servicio

En primera instancia, en “1” el usuario se valida en el sistema, para ello se obtienen las medidas fisiológicas a través del módulo hardware-software (wereable abierto). En “2”, al presionar el botón “Obtener Valores”, inicia la captura de la variabilidad de la frecuencia cardiaca VFC y las señales electromiográficas (EMG) del rostro para establecer un nivel de arousal y valence, que a su vez permiten determinar la emoción de entrada del usuario. De igual modo, en “3” el usuario visualiza gráficamente la medida de la frecuencia cardíaca en tiempo real. Una vez obtenidos los valores, el usuario puede iniciar sesión y continuar a la interfaz principal, ver figura 7.

Dentro de la interfaz principal, en “1” el usuario visualiza los videos recomendados según la emoción de entrada, para ello cuenta con el panel de control multimedia y la opción de valorar el contenido. En “2” el usuario puede visualizar el monitoreo continuo de las variables fisiológicas de VFC, EMG y conductividad de la piel (GSR), además se muestra: el nivel de estrés, la emoción que experimenta el usuario segundo a segundo y la gráfica con el seguimiento del ritmo cardiaco. En “3” se presentan al usuario la lista de contenidos recomendados, siendo la emoción detectada por el sistema en cada instante el elemento central para actualizar periódicamente el listado de recomendaciones.

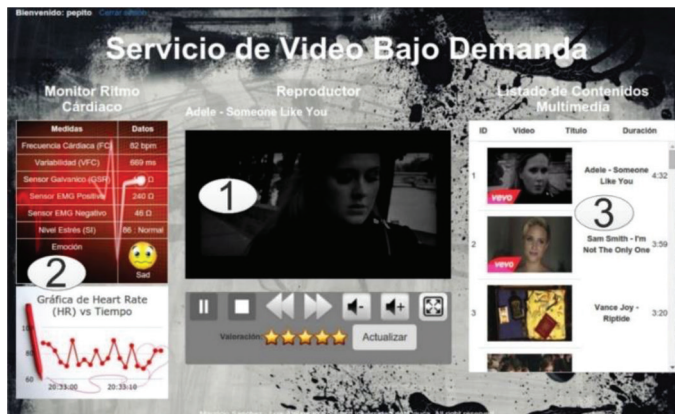


Figura 7 – Interfaz principal del servicio

5. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se presentó una arquitectura para el servicio de VoD desde la vista de negocio, de contexto, funcional y de implementación. Estas vistas ilustran como la definición del contexto para telecomunicaciones puede contribuir a la solución de los dos principales retos del servicio de VoD: acceso ágil y consumo adecuado del contenido multimedia.

La arquitectura propuesta enriquece el servicio de VoD, al abordar diferentes dimensiones de la definición del contexto para servicios de telecomunicaciones, como son: usuario, red y dispositivo, contribuyendo así al mejoramiento de los problemas de acceso ágil y consumo adecuado del contenido multimedia. En la dimensión de usuario la arquitectura considera un conjunto de variables fisiológicas relevantes, mientras que en la dimensión de red y dispositivo la arquitectura está soportada en un escenario de streaming DASH.

La arquitectura propuesta en este artículo busca aprovechar en la dimensión de usuario la tendencia actual de internet de las cosas, por obtener información de diferentes fuentes conectadas a internet, como es el caso de los sensores integrados en dispositivos wearables. A través del uso de estos dispositivos, se buscó obtener información relevante del usuario, permitiendo la recomendación ágil y precisa de contenidos multimedia según las necesidades del usuario.

La arquitectura para el servicio de VoD aprovecha las emociones asociadas a los contenidos multimedia musicales, de tal modo que permite relacionar el perfil emocional del usuario con un conjunto de contenidos musicales previamente clasificados mediante un sistema de recomendación basado en contexto. Así, a partir de las características musicales de arousal y valence es posible vincular un contenido multimedia con las emociones, las cuales son inferidas usando variables de contexto de usuario.

Como trabajo futuro, se pretende adaptar la arquitectura basada en contexto para la transmisión de servicios de video en vivo, lo cual implica la adecuación del entorno de streaming DASH de la arquitectura, en cuanto a la realización de procesos de codificación y segmentación en tiempo real.

Referencias

- Arzelier, C. (2017). The Mobile Broadband Standard, 3GPP a Global Initiative, Release 12. 3GPP. 3GPP Multimedia Broadcast and Multicast Service (MBMS). Obtenido de: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases
- Adobe. (2012). HTTP Dynamic Streaming. Obtenido de: <http://www.adobe.com/products/hds-dynamic-streaming.html>
- Asanov, D. (2011). Algorithms and methods in recommender systems. Berlin, Germany: Berlin Institute of Technology. Obtenido de: https://www.snet.tu-berlin.de/fileadmin/fg220/courses/SS11/snet-project/recommender-systems_asanov.pdf
- Campo, W., Arciniegas, J., Garcia, R., & Melendi, D. (2010). Análisis de Tráfico para un Servicio de Vídeo bajo Demanda sobre Recles HFC usando el Protocolo RTMP. *Información tecnológica*, 21(6), 27–48.
- Casín, B. (2013). DASH: *Un estándar MPEG para streaming sobre HTTP* (tesis de pregrado). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Chanchí, G. E., Campo, W., Amaya, J., & Arciniegas, J. (2011). Esquema de Servicios para Televisión Digital Interactiva, basados en el protocolo REST-JSON. Gramado, Brasil: *Cadernos de Informatica*.
- Chen, G., & Kotz, D. (2000). A survey of context-aware mobile computing research (reporte técnico). Hanover, NH, USA: Dartmouth College. Obtenido de: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=867843>.
- Cunningham, S., Caulder, S., & Grout, V. (2008). Saturday Night or Fever? Context-Aware Music Playlists. *Proceedings of the 3rd International Audio Mostly conference on Sound in Motion*.

- da Silva, F., Alves, L., & Bressan, G. (2009). PersonalTVware: A Proposal of Architecture to Support the Context-aware Personalized Recommendation of TV Programs. *In Proc. of 7th Eur. Conf. Interactive TV and Video*. Leuven-Belgica.
- Dabrowski, M., Gromada, J., & Moustafa, H. (2012). Context-Awareness for IPTV Services Personalization. In *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing* (pp. 37–44). Obtenido de: <https://doi.org/10.1109/IMIS.2012.97>
- Gambín, J. (2012). *Desarrollo de un servicio de televisión interactiva HbbTV según el estándar ETSI TS 102 796 v1.1.1*. (Tesis de pregrado). Cartagena-España: Universida Politécnica de Cartagena.
- ISO/IEC (2014). ISO/IEC 23009-1:2014. (2014). Information technology – Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) – Part 1: Media presentation description and segment formats. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ITU-T.(2008).ITU-TY.1900-series–Supplement on IPTV service use cases. International Telecommunication Union. Series Y: Global information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.Sup5-200805-I/>
- Jannach, D., Zanker, M., Felfernig, A., & Friedrich, G. (2010). *Recommender Systems: An Introduction*. Cambridge.
- Kruchten, P. (1995). Architectural Blueprints—The “4+1” View Model of Software Architecture. *IEEE Software*, 12(6), 42–50.
- Li, Z., & Bouazizi, I. (2013). Light Weight Content Fingerprinting for Video Playback Verification in MPEG DASH. *20th International Packet Video Workshop*. San Jose - USA: IEEE.
- Mack, S. (2002). *Streaming Media Bible*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Melville, P., Mooney, R. J., & Nagarajan, R. (2002). Content-Boosted Collaborative Filtering for Improved Recommendations. *XVIII Conferencia Internacional de Inteligencia Artificial - AAAI 2002*. Edmonton, Canadá.
- Muller, C., Lederer, S., Rainer, B., Walzl, M., Grafl, M., & Timmerer, C. (2013). Open source column: dynamic adaptive streaming over HTTP toolset. *ACM SIGMultimedia Records*, 5(1), 11–13. Obtenido de <https://doi.org/10.1145/2484912.2484915>
- Ortiz, D., Chanchí, G., Arciniegas, J., & Duran, D. (2017). Escenario para la transmisión de streaming adaptativo DASH-WebM. *Revista Colombiana de Computación - RCC*, 18(1), 27–45.
- Park, H., Yoo, J., & Sung-Bae, C. (2006). A Context-Aware Music Recommendation System Using Fuzzy Bayesian Networks with Utility Theory. *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 4223, 970–979.

- Porcel, C., López-Herrera, A., & Herrera, E. (2009). A recommender system for research resources based on fuzzy linguistic modeling. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5173–5183.
- Porcel, C., Moreno, J. M., & Herrera, E. (2009). A multi-disciplinar recommender system to advice research resources in University Digital Libraries. *Expert Systems with Applications: An Internacional Journal*, 36(10), 12520–12528.
- Porcel, C., Tejeda, A., Martínez, M., & Herrera, E. (2012). A hybrid recommender system for the selective dissemination of research resources in a Technology Transfer Office. *Information Sciences*, 184(1), 1–19.
- Pripuzic, K., Zarko, I., Podobnik, V., Lovrek, I., Cavka, M., Petkovic, I., Stulić, P., & Gojčeta, M. (2013). Building an IPTV VoD Recommender System: An Experience Report. In *Proceedings of the 12th International Conference on Telecommunications: ConTEL 2013: Zagreb, Croatia, June 26-28, 2013*. University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6578284>
- Rho, S., Han, B., & Hwang, E. (2009). SVR-based music mood classification and context-based music recommendation. In *Proceedings of the seventeen ACM international conference on Multimedia - MM '09* (p. 713). New York, New York, USA: ACM Press. Obtenido de <https://doi.org/10.1145/1631272.1631395>
- Song, S., Moustafa, H., & Afifi, H. (2011). IPTV Services Personalization Using Context-Awareness. *Informatica*, 13-20.
- Su, J., Yeh, H., Yu, P., & Tseng, V. (2010). Music Recommendation Using Content and Context Information Mining. *Intelligent Systems*, 25(1), 16–26.
- Thawani, A., Gopalan, S., & Sridhar, V. (2004). Context Aware Personalized Ad Insertion in an Interactive TV Environment. In *Proceedings of Workshop on Personalization in Future TV*.
- Timmerer, C., & Griwodz, C. (2012). Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP - From Content Creation to Consumption. In *Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia - MM '12* (p. 1533). New York, New York, USA: ACM Press. Obtenido de <https://doi.org/10.1145/2393347.2396553>
- Turrin, R., & Cremonesis, P. (2010). Recomender Systems for Interactive TV. In *Proceedings of the 8th European Conference on Interactive TV and Video conference. June 9-11, 2010, Tampere, Finland*. Obtenido de <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1809777>
- Wang, X., Rosenblum, D., & Wang, Y. (2012). Context-aware mobile music recommendation for daily activities. In *Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia - MM '12* (p. 99). New York, New York, USA: ACM Press. Obtenido de: <https://doi.org/10.1145/2393347.2393368>
- Yager, R. (2003). Fuzzy logic methods in recommender systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 136(2), 133–149.

- Zambelli, A., (2009). *IIS Smooth Streaming Technical Overview*. Obtenido de http://www.bogotobogo.com/VideoStreaming/Files/iis8/IIS_Smooth_Streaming_Technical_Overview.pdf
- Zanker, M., Klagenfurt, U., Jannach, D., Gordea, S., & Jessenitschnig, M. (2007). Comparing Recommendation Strategies in a Commercial Context. *IEEE Intelligent Systems*, 22(3), 69–73. Obtenido de: <https://doi.org/10.1109/MIS.2007.49>
- Zhang, H., & Zheng, S. (2005). Personalized TV program recommendation based on TV-anytime metadata. In *Proceedings of the Ninth International Symposium on Consumer Electronics, 2005. (ISCE 2005)*. (pp. 242–246). Obtenido de: <https://doi.org/10.1109/ISCE.2005.1502378>.

Diseño de un Control Regulador para un Sistema de Servo-Posicionamiento Neumático

Iván Ramírez ¹, Christopher Toro ¹, Jonathan Diaz ²

idramirez@uniquindio.edu.co, christop0217@hotmail.com, jdiazm@inaoep.mx

¹ Universidad del Quindío, Ingeniería Electrónica, Departamento de Automatización y Control, 630004, Armenia, Quindío, Colombia.

² Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica INAOE, Maestría en Electrónica, 72840, Tonantzintla, Puebla, México.

DOI: 10.17013/risti.29.72–88

Resumen: Los actuadores neumáticos son de bajo costo, seguros, limpios y exhiben una alta relación potencia-peso. Esta contribución presenta una estrategia de control novedosa para resolver el problema de regulación de un sistema de servo posicionamiento neumático, que compensa por las no linealidades del sistema, considerando la posición, velocidad y la diferencia de presiones en las cámaras del cilindro neumático como estados de retroalimentación, en lugar de posición, velocidad y aceleración (PVA) como en los controladores más comunes que se encuentran en la literatura. Los experimentos son realizados con un cilindro neumático sin vástago, de 25 mm de diámetro y una válvula de control proporcional de 5/3 vías. Para probar la eficiencia y aplicabilidad del esquema de control propuesto tanto simulaciones como resultados experimentales se muestran y se discuten. Los resultados demuestran que un alto desempeño en posicionamiento y respuestas simétricas en el movimiento del deslizador en ambas direcciones puede ser logrado.

Palabras-clave: Lazo interno; estados de retroalimentación; sistema no lineal; lazo externo; control regulador.

Regulation Control Design of a Pneumatic Servo-Positioning System

Abstract: Pneumatic actuators are low-cost, safe, clean, and exhibit a high power-to-weight ratio. This contribution presents a novel control strategy to solve the regulation problem of pneumatic servo positioning systems that cope with the nonlinearities of the system: airflow-pressure relationship through valve orifice and friction effects between contact surfaces in actuator seals, by considering the position, velocity and pressure difference in the chambers of the pneumatic cylinder, as feedback states instead of position, velocity and acceleration (PVA) as in the most common controllers found in literature. Experiments are conducted with a 25-mm bore rod-less pneumatic cylinder and a 5/3-way proportional control valve. To highlight the efficiency and applicability of the proposed control schemes, simulation, as well as experimental results are provided and discussed.

The experimental and simulated results from the regulation control strategy proposed, prove that high-positioning performance and symmetrical responses in forward and backward motion are achieved.

Key words: Inner loop; linear feedback states; nonlinear system; outer loop; regulation control.

1. Introducción

Los actuadores neumáticos son ampliamente utilizados en el campo de la automatización, la robótica y la manufactura. Debido a sus atributos especiales, los actuadores neumáticos se han convertido en actuadores alternativos en tareas automatizadas de manejo de materiales. La tecnología neumática presenta muchas ventajas, como alta velocidad, alta generación de fuerza, mejor eficiencia, menos mantenimiento y bajos costos operativos. Sin embargo, su precisión relativamente baja les impide competir con sistemas electromecánicos, hidráulicos y magnéticos cuando se necesita una mayor precisión.

De otro lado, los actuadores neumáticos son difíciles de controlar debido a las características no lineales del sistema. Las no linealidades presentes en los actuadores neumáticos son la rigidez muy baja causada por la compresibilidad del aire en las cámaras del cilindro, las variaciones del caudal másico y la baja amortiguación del actuador, lo que dificulta el control preciso del movimiento (Saravanakumar, Mohan & Muthuramalingam, 2017). Otras no linealidades en los servosistemas neumáticos son la zona muerta de la válvula, saturación, ancho de banda limitado, relación no lineal flujo de aire-presión a través de los orificios de la válvula y los efectos de fricción entre las superficies de contacto en los sellos del actuador, especialmente en aquellas zonas con velocidad cercana a cero (Rahmat, M.F. et al., 2011), que son desfavorables en el diseño de estrategias para el control de servosistemas neumáticos en aplicaciones de posicionamiento de alta precisión (Ramírez, 2013).

Las altas no linealidades presentes en los sistemas neumáticos implica que sus modelos matemáticos se componen de ecuaciones diferenciales no lineales. Estas ecuaciones se caracterizan por no tener una solución explícita y por lo tanto requieren de un tratamiento exclusivo para cada solución. La teoría de los sistemas dinámicos no lineales permitió el acceso a nuevas herramientas matemáticas, capaces de permitir el análisis de modelos de sistemas más complejos con un comportamiento altamente no lineal que incluso puede alcanzar un comportamiento caótico.

En las últimas décadas, el modelado y control de actuadores servo neumáticos ha sido un tema interesante que ha atraído a investigadores de todo el mundo. Se deben identificar una gran cantidad de parámetros desconocidos para lograr una respuesta dinámica cercana a los sistemas reales. Las tres consideraciones principales para obtener el modelo de un sistema de actuador neumático son: (i) la dinámica de la carga, incluido el modelo de fricción porque la fuerza de fricción existente en el actuador neumático lo hace difícil de controlar. Varios investigadores modelaron la fuerza de fricción para implementar compensación por fricción para una alta precisión en el desempeño del controlador. (ii) la presión, los volúmenes y la temperatura del aire en el cilindro, y (iii) el caudal másico a través de los orificios de la válvula (Sobczyk, Perondi & Suzuki, 2012).

(Valdiero, Ritter, Rios, & Rafikv, 2011) presentaron el modelo de un sistema de servo posicionamiento como una combinación de ecuaciones teóricas y métodos de identificación del sistema. (Sorli, Gastaldi, Codina, & Heras, 1999) analizaron las características dinámicas de un sistema de posicionamiento servo neumático. Mientras que (Takosoglu, Dindorf, & Laski, 2009) presentaron el modelo teórico global del sistema servo neumático mediante el uso de una válvula proporcional. (Ramírez & Ibarguen, 2016) presentaron un modelo obtenido a partir de leyes físicas e identificación para obtener los parámetros del flujo compresible a través de los orificios de la válvula proporcional de control direccional. (Najafi, Fathi, & Saadat, 2009) modelaron la amortiguación del cilindro neumático al final de las carreras. (Ramírez, 2013) presentó un modelo global del sistema de servo posicionamiento neumático con el modelo de fricción LuGre incluido.

Muchos autores han presentado diferentes enfoques de control y algoritmos para un control preciso de los actuadores neumáticos. Entre estos, (Aziz & Bone, 2000) presentaron un procedimiento de sintonización automático de los parámetros de servo controladores para sistemas neumáticos; (Rao & Bone, 2008) presentaron una novedosa ley de control de posición no lineal de Múltiple entrada-una salida (MISO) diseñada mediante el uso del método de backstepping para sistemas neumáticos. Un método efectivo de compensación por fricción fue desarrollado en (Ning & Bone, 2002), que puede agregarse a cualquier estrategia de control. Cuando esta compensación la combinaron con el clásico enfoque de control posición-velocidad-aceleración/posición-velocidad (PVA/PV), alcanzaron experimentalmente una precisión de estado estacionario de ± 0.01 mm. (Tsai & Huang, 2008) propusieron un controlador adaptativo basado en la técnica de aproximación de función (FAT) para estimar las incertidumbres variables en el tiempo en los sistemas de servo-posicionamiento neumático. (Gulati & Barth, 2009) diseñaron un observador de presión basado en Lyapunov para un sistema servo neumático.

El diseño de sistemas de control complejos es difícil, sin embargo, es relativamente fácil utilizar controladores de lógica difusa, que utilizan una base de conocimiento, como un operador humano. A manera de ejemplo, (Gao & Feng, 2005) desarrollaron un controlador adaptable Proporcional-Derivativo Fuzzy para el sistema de posicionamiento neumático. (Nagi & Perumal, 2009) optimizaron el controlador difuso para obtener una respuesta de tiempo mínima. (Kaitwanidvilai & Olanthichachet, 2011) propusieron una metodología robusta de un controlador difuso de formación de bucles para el control de posicionamiento del sistema servo neumático. (Gyeviki, Tóth, & Rózsahégyi, 2004) presentaron una estrategia de control por modos deslizantes y su aplicación en un sistema de posicionamiento servo-neumático. (Ramírez, 2018) desarrolló una novedosa estrategia de control de seguimiento para el sistema de servo-posicionamiento neumático.

Por lo anterior, aunque muchos artículos cubren el control de los sistemas de servo-posicionamiento neumático, los controladores más comunes encontrados en la literatura usan PVA como los estados de realimentación. Esta contribución presenta una novedosa estrategia para resolver el problema de regulación de los sistemas de servo-posicionamiento neumático. El enfoque es novedoso en el sentido de que tiene en cuenta las no linealidades inherentes a los sistemas de servo posicionamiento neumático

y considera la posición, la velocidad y la diferencia de presión en las cámaras del cilindro neumático como estados de retroalimentación. La estrategia de control diseñada es implementada en ambos: simulación y en el sistema de servo posicionamiento real.

Este documento está organizado de la siguiente manera: la sección 2 presenta una descripción del Sistema de Servo-Posicionamiento Neumático (SSPN) con sus componentes principales y el sistema neumático de prueba utilizado. La sección 3 presenta el modelo global del SSPN, desarrollado en (Ramírez & Ibarguen, 2016). En la sección 4 se presenta la estrategia de control propuesta en este artículo para resolver el problema de regulación del SSPN, investiga experimentalmente el efecto de la realimentación de la diferencia de presión medida sobre el flujo no lineal a través de los orificios de la válvula de control direccional proporcional de 5/3 vías utilizada. También se deriva la función de transferencia lineal y un modelo de espacio de estado para el SSPN. Esta sección también implementa el control regulador propuesto sobre el sistema neumático real y sobre el modelo de simulación global. La sección 5 concluye el documento con algunos comentarios y declaraciones finales.

2. Materiales y Métodos

2.1. Set-up experimental

En la Figura 1 se muestra una representación esquemática de la configuración del sistema de servo posicionamiento neumático utilizado. Consiste de una válvula proporcional de 5 puertos (FESTO, MPYE- 5-1/8 HF-010B) y un cilindro neumático sin vástago (FESTO, DGC1-25-1250-KF-YSR). El flujo de aire desde el tanque de aire a las cámaras del cilindro se rige en magnitud y dirección por la posición del spool de la válvula. Un actuador electromagnético (un solenoide) acciona el spool de la válvula. La parte electromecánica de la servo válvula se controla mediante un sistema de realimentación con un ancho de banda de aproximadamente 70 Hz, de modo que, en este rango de frecuencia, la posición del spool es aproximadamente proporcional a la señal de entrada. El cilindro sin vástago se usa para garantizar que el área de la sección transversal en ambas cámaras es la misma. El cilindro tiene un sistema de medición de posición integrado y es un sensor de posición de salida digital magnetoestrictivo (FESTO, CANBUS) con una resolución de 50 μm .

El deslizador interno (el pistón) se mueve hacia adelante y hacia atrás en el cilindro por medio de aire seco aplicado a cada lado mediante el uso de la válvula de control direccional proporcional de 5/3 vías. La transferencia de movimiento al deslizamiento exterior se logra a través de un acoplamiento fijo. Para medir la presión dentro o en la entrada de las cámaras del cilindro, se adaptaron dos conexiones de aire comprimido y se usaron sensores de presión diferencial para medir la diferencia de presión entre las cámaras del cilindro, que es proporcional a la fuerza impulsora. La velocidad se puede obtener a partir de la integración de la de la aceleración obtenida del acelerómetro.

El sistema de adquisición y control utilizado es un NI DAQ PCI 6014 (National Instruments). Es un dispositivo electrónico especialmente diseñado para el desarrollo de control digital y adquisición de datos. Está compuesto por 16 entradas analógicas (ADC) y dos salidas analógicas (DAC). Se utiliza una computadora para proporcionar el

voltaje de entrada de conducción a la válvula por medio de un convertidor D/A y leer los transductores por medio de convertidores A/D.

2.2. Diseño del control de regulación

El objetivo aquí es resolver el problema de regulación del SSPN considerado. Se propone una estrategia de control novedosa que compensa por las no linealidades del flujo de aire a través de los orificios de la válvula de control direccional proporcional de 5/3 vías y la fricción no lineal. La estrategia de control consta de dos partes:

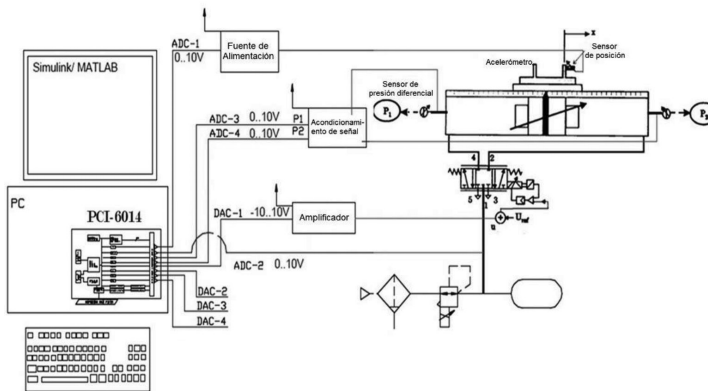


Figura 1 – Set-up experimental del sistema de servo-posicionamiento neumático

Un controlador proporcional (lazo interno) para la diferencia de presión medida en las cámaras del cilindro neumático ($P_1 - P_2$), con ganancia proporcional K_p . Este bucle embebido compensará por las no linealidades de la válvula proporcional, es decir, las no linealidades del flujo a través de los cuatro orificios de la válvula.

Retroalimentación de estados (bucle externo) en el que la posición, la velocidad y la diferencia de presiones medida en las cámaras del cilindro neumático son los estados de retroalimentación. Este lazo compensará por la fricción no lineal para lograr un alto desempeño en posicionamiento.

Para investigar experimentalmente el efecto de la retroalimentación de la diferencia de presiones medida sobre las no linealidades del flujo de aire a través de los orificios de la válvula proporcional, se debe realizar lo siguiente:

Separar el efecto del flujo no lineal desde la fricción no lineal. Esto se logra manteniendo el deslizador en una posición fija, que podría ser a la mitad de la carrera del cilindro neumático, es decir, considerando un subsistema que consiste en la válvula proporcional y dos cámaras aproximadamente iguales en tamaño.

Aplicar un control proporcional para la diferencia de presiones con la compensación por zona muerta de la válvula proporcional dc, como se muestra en la Figura 2. La diferencia de presión deseada ΔP_d , es la entrada y la diferencia de presión medida ΔP_m , es la salida.

Identificar la función de transferencia del sistema en lazo o cerrado resultante $G_{cl}(s)$, dada por la ecuación 1:

$$G_{cl}(s) = \frac{\Delta P_m(s)}{\Delta P_d(s)} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta los límites de saturación (± 5 voltios) de la ganancia proporcional de la válvula K_p , se calcula usando uno de los métodos de representación de sistemas usando primer orden más tiempo muerto (POMTM) encontrados en la literatura.

Ahora, para identificar la función de transferencia de lazo cerrado $G_{cl}(s)$ para el subsistema en investigación, se puede estimar la diferencia de presión requerida ΔP_d para la posición deseada, usando el sistema inverso del sistema y suponiendo fricción viscosa. La posición deseada x_d se convierte en la entrada al sistema inverso y ΔP_d que es proporcional a la fuerza impulsora requerida es la salida del sistema, como se mostrará en las siguientes secciones. Finalmente, la función de transferencia de lazo cerrado del subsistema $G_{cl}(s)$ se calcula aplicando un modelo de primer orden más tiempo muerto (POMTM).

3. Resultados

3.1. Modelo de un sistema de servo-posicionamiento neumático

Un actuador neumático se puede modelar a partir de análisis matemáticos teóricos o a partir de la identificación del sistema. La mayoría de los investigadores han utilizado análisis matemáticos teóricos para modelar el actuador neumático, que requiere una combinación de termodinámica, dinámica de fluidos y dinámica de movimiento. Para construir el modelo matemático del SSPN, se deben tener en cuenta tres consideraciones principales: i) las tasas de flujo másico a través de los orificios de la válvula; ii) la presión, el volumen y la temperatura del aire en el cilindro; iii) la dinámica de la carga. El modelado preciso de un actuador neumático es una condición importante tanto para el diseño del control como para optimizar su funcionamiento (Saravanakumar et al., 2017).

Esta sección presenta un modelo de simulación global del SSPN considerado, desarrollado en (Ramírez & Ibarguen, 2016). El modelo global del sistema de servo posicionamiento neumático consta de tres bloques principales: (i) la servo válvula; (ii) el actuador o cilindro neumático sin vástago y (iii) el deslizador del actuador neumático.

Para describir la dinámica del servo sistema en forma de modelo de espacio de estado, el modelo debe reformularse mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales no lineales que describan relaciones únicas entre la entrada, la salida y los estados del sistema.

La representación más apropiada es la ecuación de estado para un sistema dinámico autónomo definido por la ecuación 2.

$$\dot{x} = f(x, u), \quad x(t_0) = x_0 \quad (2)$$

Donde $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estados en el tiempo, $\mathbf{t}, \mathbf{u} \in \mathbb{R}^n$ es el vector de entradas, y $\mathbf{f}: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ es el campo vectorial. Como el campo vectorial no depende explícitamente del tiempo, el tiempo inicial siempre se toma como $t_0 = 0$. Por lo tanto, con $x_1 = P_1$, $x_2 = P_2$, $x_3 = y$, $x_4 = v$, $x_5 = z$, el modelo matemático del sistema está definido por las ecuaciones 3 a 5:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \frac{RT}{Ax_3 + V_{1D}} \dot{m}_1 - \frac{Ax_1}{Ax_3 + V_{1D}} x_4 \\ \dot{x}_2 &= \frac{RT}{A(L - x_3) + V_{2D}} \dot{m}_2 - \frac{Ax_2}{A(L - x_3) + V_{2D}} x_4 \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= \frac{A}{M}(x_1 - x_2) - \frac{1}{M} F_f \\ \dot{x}_5 &= x_4 - \frac{\sigma_0 |x_4| x_5}{g(x_4)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$F_f = \sigma_0 x_5 + \sigma_1 \left(x_4 - \frac{\sigma_0 |x_4| x_5}{g(x_4)} \right) + Bx_4 \quad (4)$$

$$\dot{m} = (\pm) A_{eff} P_1 \sqrt{\frac{2k}{RT(k+1)}} \left[\frac{2}{k+1} \right]^{\frac{1}{k-1}} \psi \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (5)$$

Donde:

R : es la constante universal del gas.

T : es la temperatura.

M : es la masa deslizante total.

F : es la fuerza total aplicada.

A : es el área efectiva del pistón.

P_1 : es la presión en la cámara 1.

P_2 : es la presión en la cámara 2.

V_{1D} : es el volumen muerto de la cámara 1, constante.

A_{eff} : es el área de sección transversal de los orificios de la válvula.

V_{2D} : es el volumen muerto de la cámara 2, constante.

Ψ : es el factor de flujo (razón de presiones).

$\dot{m}_1$: es el flujo másico que entra y/o sale de la cámara 1.

$\dot{m}_2$: es el flujo másico que entra y/o sale de la cámara 2.

σ_0 : es el coeficiente de rigidez de la deformación microscópica de z .

σ_1 : es el coeficiente de amortiguación asociado con dz/dt .

σ_2 : es el coeficiente de fricción viscoso (= C)

y : es la posición del pistón.

z : es la desviación promedio de las rugosidades de la superficie de contacto.

Para mayores detalles del modelo y de los valores de todas las constantes el lector puede remitirse a (Ramírez & Ibarguen, 2016).

3.2. Control de posicionamiento: Regulación

Identificación de la función de transferencia en lazo cerrado

La tarea aquí es identificar la función de transferencia de lazo cerrado $G_{cl}(s)$ para el subsistema bajo investigación, que se muestra en la Figura 2. Para esto, la diferencia de presión requerida ΔP_d puede estimarse para la trayectoria de posición invirtiendo el sistema pistón-deslizador y asumiendo fricción viscosa. La posición deseada x_d se convierte en la entrada al sistema inverso y ΔP_d , que es proporcional a la fuerza de accionamiento requerida es la salida del sistema, como se muestra en la ecuación 6:

$$\Delta P_d = \frac{M}{A} \ddot{X}_d + \frac{C}{A} \dot{X}_d \quad (6)$$

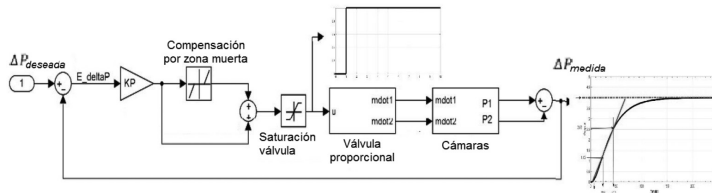


Figura 2 – Diagrama de bloques del subsistema de investigación con un controlador P

Donde M: es la masa deslizante equivalente total, compuesta por la masa del pistón, la masa del deslizador y la masa de un objeto (pieza de trabajo) rígidamente acoplada al deslizador; A: es el área de la sección transversal del pistón, y C: es el coeficiente de fricción viscoso. Finalmente, en la ecuación 7 se presenta la función de transferencia de lazo cerrado del subsistema se identifica aplicando el modelo de primer orden más tiempo muerto (FOPDT) como en (Padma, Srinivas, & Chidambaram, 2004).

$$G_{cl}(s) = \frac{\Delta P_m}{\Delta P_d} = \frac{k}{\tau s + 1} \quad (7)$$

Donde τ es la constante de tiempo ($\tau = 0.17$ sec) y k es la ganancia fija ($k = 0.67$). El valor de K_p se obtuvo utilizando el método propuesto en (Padma et al., 2004), para diseñar controladores PI/PID en sistemas de primer orden más tiempo muerto (FOPTD) estables o inestables.

Modelo en espacio de estados del sistema de servo-posicionamiento neumático

El modelo de entrada-salida de un sistema especifica una relación que expresa el cambio de salida como función de entrada, sin considerar la estructura interna y los parámetros del sistema. Para un sistema lineal, de parámetros concentrados, invariante en el tiempo, de única entrada y única salida, la relación entrada-salida consiste en ecuaciones diferenciales lineales de n-ésimo orden con coeficientes constantes, que relacionan la variable de entrada $u(t)$ y la variable de salida $y(t)$.

Un modelo de entrada-salida implica una función de transferencia operativa que sirve como operador del sistema. La relación de causa y efecto de los sistemas dinámicos lineales invariantes en el tiempo se expresa comúnmente por el concepto de función de transferencia.

Al tener la función de transferencia lineal dada en la ecuación 7, para el subsistema descrito por la ecuación 6, se puede obtener una función de transferencia lineal completa para el SSPN considerando la fricción viscosa como la única componente existente debida al contacto del pistón con las paredes del cilindro. Esta función de transferencia lineal $G_p(s)$ está dada en la ecuación 8 y su representación en diagrama de bloques se representa en la Figura 3.

$$G_p(s) = \frac{Y_m(s)}{\Delta P_d(s)} = \frac{(kA / \tau M)}{s^3 + ((\tau C + M) / \tau M)s^2 + (C / \tau M)s} \quad (8)$$

Donde ΔP_d es la diferencia de presión deseada, Y_m es la posición medida, k y τ son la ganancia fija y la constante de tiempo del subsistema, respectivamente.

Para describir este sistema dinámico en la forma del modelo de espacio de estado, el modelo debe reformularse mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden o ecuaciones en diferencia que describan relaciones únicas entre la entrada, la salida y los estados del sistema.

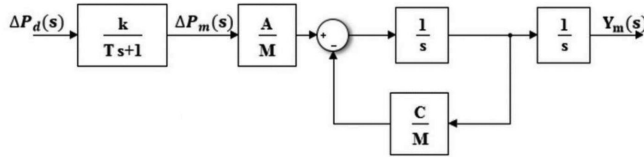


Figura 3 – Modelo lineal entrada-salida del sistema de servo-posicionamiento neumático

El modelo lineal de entrada-salida del SSPN es único y se puede utilizar para caracterizar el sistema a través de un conjunto único de ecuaciones diferenciales de primer orden, como se muestra en las ecuaciones 9:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{C}{M}x_2 + \frac{A}{M}x_3 \\ \dot{x}_3 &= -\frac{1}{\tau}x_2 + \frac{k}{\tau}\Delta P_d \\ y_m(t) &= x_1 \\ u(t) &= \Delta P_d \end{aligned} \quad (9)$$

A partir de las ecuaciones diferenciales anteriores, el sistema se puede describir en forma de espacio de estado, ecuaciones 10 y 11:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{C}{M} & \frac{A}{M} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k}{\tau} \end{bmatrix} \Delta P_d \quad (10)$$

Y

$$y_m = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Donde x_1 es la posición, x_2 es la velocidad y x_3 es la diferencia de presiones en las cámaras del cilindro.

4. Discusión

En la sección anterior se estableció que un lazo de retroalimentación de la diferencia de presiones medida, embebido con un controlador proporcional y una compensación por zona muerta de la válvula, compensará por las no linealidades del flujo de aire a través de los orificios de la servo válvula.

Posteriormente, se diseña el control del lazo externo, es decir, en los estados en los que la posición, la velocidad y la diferencia de presión medida en las cámaras del cilindro neumático son los estados de retroalimentación. Este lazo compensará por la fricción no lineal para lograr un alto desempeño en posicionamiento.

4.1. Controlabilidad

La controlabilidad del modelo de espacio de estado se puede probar a través de la matriz de controlabilidad del sistema P_c dada por la ecuación 12. Como el rango de P_c es 3, o equivalentemente $\det(P_c) = k^3 A^2 / \tau^3 M^2 \neq 0$, significa que el sistema es controlable.

$$P_c = \begin{bmatrix} B & A B & A^2 B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{kA}{\tau M} \\ 0 & \frac{kA}{\tau M} & -\frac{k}{\tau} \left(\frac{CA}{M^2} + \frac{A}{\tau M} \right) \\ \frac{k}{\tau} & -\frac{k}{\tau^3} & \frac{k}{\tau^3} \end{bmatrix} \quad (12)$$

4.2. Realimentación de estados

Con respecto al diseño del lazo externo (retroalimentación del estado) en la estrategia de control propuesta, la ecuación de estado del sistema servo neumático dado en la ecuación 10, puede reescribirse como se muestra en la ecuación 13:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \quad (13)$$

Con $u = \Delta P_d$, se considera la señal de control como una combinación lineal de los estados del SSPN. La retroalimentación lineal de estados está dada por la ecuación 14:

$$u = -\mathbf{K}\mathbf{x} \quad (14)$$

$$u = -\begin{bmatrix} k_1 & k_2 & k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Sustituyendo la ecuación 14 en la ecuación de estado del sistema 13, se obtiene la ecuación 15:

$$\dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} - \mathbf{BK})\mathbf{x} = \mathbf{H}\mathbf{x} \quad (15)$$

Donde $\mathbf{H}$ es la matriz de estado del sistema en lazo cerrado, dada por la ecuación 16:

$$\mathbf{H} = \mathbf{A} - \mathbf{BK} = \begin{bmatrix} s & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{C}{M} & \frac{A}{M} \\ -\frac{kk_1}{\tau} & -\frac{kk_2}{\tau} & -\frac{1+kk_3}{\tau} \end{bmatrix} \quad (16)$$

La matriz de estado $\mathbf{H}$ del sistema en lazo cerrado desempeña un papel similar a la matriz $\mathbf{A}$ para el sistema de lazo abierto, lo que significa que la dinámica del sistema de lazo cerrado está determinada por los valores propios de $\mathbf{H}$. El polinomio característico del sistema en lazo cerrado se presenta en la ecuación 18, puede determinarse mediante el determinante de $s\mathbf{I} - \mathbf{H}$, siendo $\mathbf{I}$ la matriz identidad de 3x3, como se muestra en la ecuación 17:

$$s\mathbf{I} - \mathbf{H} = \begin{bmatrix} s & -1 & 0 \\ 0 & s + \frac{C}{M} & -\frac{A}{M} \\ \frac{kk_1}{\tau} & \frac{kk_2}{\tau} & s + \frac{1+kk_3}{\tau} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\det(sI - H) = s^3 + \left(\frac{\tau C + M(1 + kk_3)}{\tau M} \right) s^2 + \left(\frac{C(1 + kk_3) + Akk_2}{\tau M} \right) s + \frac{Akk_1}{\tau M} \quad (18)$$

Mediante el diseño adecuado de las constantes de retroalimentación k_1 , k_2 and k_3 se pueden seleccionar valores propios adecuados para la matriz de estado $\mathbf{H}$ del sistema en lazo cerrado y, por lo tanto, los polos del sistema en lazo cerrado. La ubicación de polos y el control óptimo son dos métodos básicos para calcular las ganancias de retroalimentación. El método de colocación de polos se usará en este trabajo.

4.3. Ubicación de polos

El sistema es controlable, por lo que todas las raíces de la ecuación característica del sistema en lazo cerrado se pueden colocar en cualquier ubicación deseada en el semiplano izquierdo del plano s . La ecuación característica deseada para el sistema de lazo cerrado se puede especificar como en la ecuación 19:

$$(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)(s + \zeta\omega_n) = s^3 + 3\zeta\omega_n s^2 + (2\zeta^2 + 1)\omega_n^2 s + \zeta\omega_n^3 \quad (19)$$

Debido a que el plano s es infinito, se puede definir una región en el lado izquierdo del plano s complejo donde deben estar las raíces dominantes de la ecuación característica deseada. Por ejemplo, asumiendo que las especificaciones de diseño para una entrada escalón son un tiempo de establecimiento $\mathbf{H}_s$, (criterio del 2%) de al menos 2 segundos y un sobre impulso (P.O) inferior al 4%. Con estas especificaciones pueden escribirse las ecuaciones 20:

$$T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} < 2.0 \quad (20)$$

$$P.O. \approx 100 \exp \left(-\zeta\pi / \sqrt{1 - \zeta^2} \right) < 4.0$$

Resolviendo para ζ y ω_n resulta $\zeta > 0.72$ y $\omega_n > 2.8$, que definen una región en el lado izquierdo del plano s complejo donde deben estar las raíces dominantes de la ecuación de lazo cerrado deseada para cumplir con las especificaciones de diseño establecidas.

Al igualar la ecuación característica del sistema de circuito cerrado (ecuación 18), con la ecuación característica deseada (ecuación 19), se obtienen las siguientes expresiones para las ganancias de retroalimentación $\mathbf{k}_1$, $\mathbf{k}_2$ and $\mathbf{k}_3$, como se muestra en la ecuación 21.

$$k_1 = \frac{\tau M}{Ak} \zeta\omega_n^3$$

$$k_2 = \frac{\tau M}{Ak} (2\zeta^2 + 1)\omega_n^2 - \frac{\tau C}{Ak} \left(3\zeta\omega_n - \frac{C}{M} \right) \quad (21)$$

$$k_3 = \frac{3\zeta\omega_n\tau}{k} - \frac{\tau C}{kM} - \frac{1}{k}$$

4.4.Implementación de la estrategia de control propuesta para solucionar el problema de regulación

La estrategia de control propuesta está implementada en el sistema de servo posicionamiento neumático real. La Figura 4 muestra una representación general del sistema servo neumático y el controlador regulador propuesto.

Las respuestas simuladas de la posición del deslizador ante entradas paso obtenidas usando la estrategia de control propuesta se representan en la Figura 5. Los resultados demuestran que un alto desempeño en posición (bajo tiempo de subida, sobre impulso despreciable y error de estado estacionario insignificante) es alcanzable. Es importante notar la simetría de la respuesta del deslizador en avance (+250 mm) y en retroceso (-250 mm).

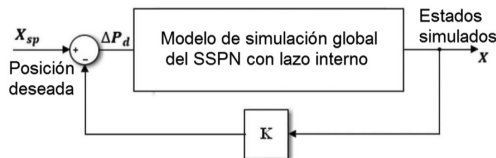


Figura 4 – Representación general para el SSPN y el controlador por regulación propuesto

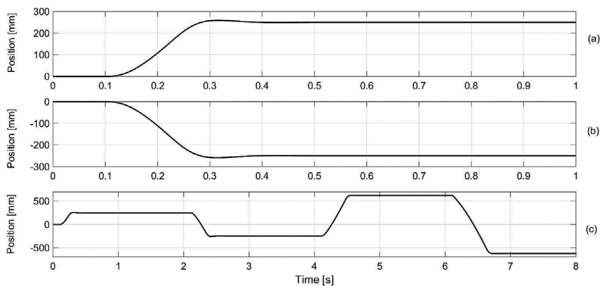


Figura 5 – Respuesta escalón simulada, obtenida mediante la implementación de la estrategia de control de regulación propuesta

La figura 6 muestra una comparación entre la posición obtenida desde el modelo de simulación global y la posición medida en el SSPN experimental, obtenidas para una entrada paso en posición de 500 mm.

Parámetro de rendimiento	Respuesta de la posición simulada	Repuesta de la posición medida
t_r (s)	0,2105	0,2201
t_s (s)	0,4037	0,3957
O.S (%)	0,09	0,08
e_{ss} (μm)	2,31	~50

Tabla 1 – Parámetros de desempeño simulados y medidos para una entrada escalón de 500 mm en posición

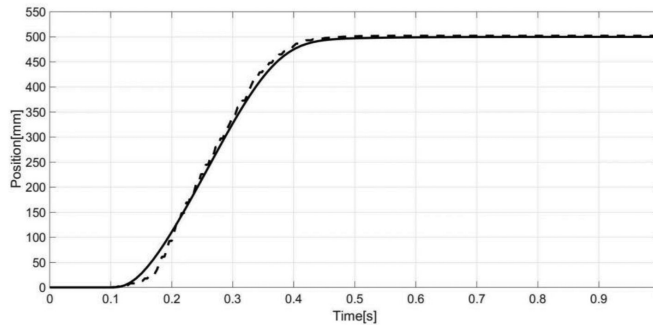


Figura 6 – Comparación entre la posición simulada (línea continua) y la posición medida (línea discontinua) del SSPN obtenido por la implementación de la estrategia de control de regulación propuesta

Los parámetros de desempeño del controlador (100% respuesta de tiempo de subida t_r , tiempo de establecimiento t_s , porcentaje de sobre impulso P.O., y error de estado estacionario e_{ss}) se muestran en la Tabla 1 para ambos casos simuladas y medidas.

Los resultados demuestran que, con la estrategia de control propuesta en este artículo, el SSPN reproduce con mucha fidelidad el comportamiento del modelo de simulación global. El tiempo de retraso entre los resultados de la simulación y la posición medida es de aproximadamente 0.1 s. Este tiempo de retraso proviene del tiempo muerto introducido por los tubos de conexión entre la válvula y el cilindro y de posibles fugas en las conexiones del cilindro neumático real (la fuga máxima para un nuevo cilindro a 6 bar es de aproximadamente 10 litros/hora). En el modelo de simulación global, los tubos se modelaron como un volumen muerto en el cilindro, a pesar de que las fugas no fueron contempladas en el modelo del SSPN. Si se desea eliminar este tiempo de retraso, una posible alternativa es el uso de dos válvulas proporcionales 3/2. La evaluación de esta alternativa será objeto de futuros trabajos.

Con el fin de analizar la simetría en el comportamiento del deslizador en avance y en retroceso, se aplicaron dos entradas escalón de 250 mm en direcciones contrarias. La Figura 7 es una comparación entre las posiciones simuladas y medidas que se obtienen implementando la estrategia de control propuesta. Los resultados demuestran que se obtienen respuestas simétricas en el movimiento de avance y retroceso.

5. Conclusiones

Una novedosa estrategia de control que considera los dos problemas básicos de control en los SSPN: el flujo de aire no lineal a través de los orificios de la válvula de control direccional proporcional de 5/3 vías y la fricción no lineal en los contactos del pistón con las paredes del cilindro ha sido propuesta y validada. La estrategia de control propuesta consta de dos partes: (i) Controlador proporcional (lazo interno) para la diferencia de presión medida en las cámaras de cilindro ($P_1 - P_2$) con ganancia proporcional K_p , es decir, un lazo de retroalimentación embebida de la diferencia de presiones con compensación DC por zona muerta de la válvula proporcional. Este lazo compensará por las no linealidades de la válvula proporcional, es decir, las no linealidades de la

ecuación de flujo. (ii) Retroalimentación de estados (lazo externo) en el que la posición, la velocidad y la diferencia de presiones medida en las cámaras del cilindro son los estados de retroalimentación. Este lazo compensará por las no linealidades de la fricción modelada para lograr un alto desempeño del controlador por regulación.

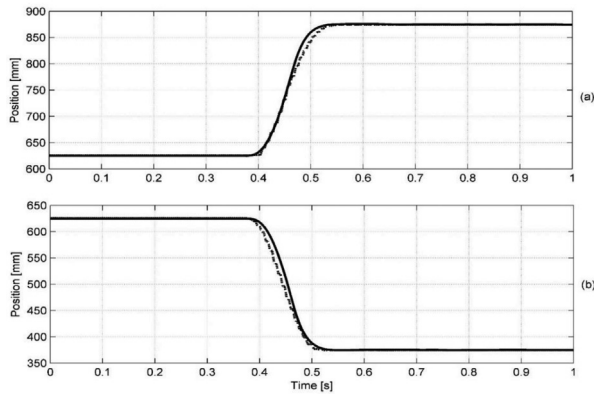


Figura 7 – Comparación entre la posición simulada (línea continua) y la posición medida (línea discontinua) para una entrada de +250 mm (a) y -250 mm (b)

La principal limitación de la estrategia de control propuesta es el tiempo de retraso que depende de las mangueras de conexión, del caudal de la válvula y del tamaño del cilindro neumático. El tiempo de retraso puede disminuirse utilizando dos válvulas proporcionales de 3/2. La evaluación de esta alternativa será objeto de una próxima publicación. Los resultados experimentales de la estrategia de control de regulación propuesta indican que se puede lograr un alto desempeño en posicionamiento como se muestran en la tabla 1. El bajo sobre impulso se traduce en un alto amortiguamiento en todas las ubicaciones a lo largo del cilindro neumático, un tiempo de subida pequeño y un error en estado estacionario del orden de la resolución del sensor de posición magnetostriectivo usado (50µm).

Referencias

- Aziz, S., & Bone, G. M. (2000). Automatic tuning of pneumatic servo actuators. *Advanced Robotics*, 13(6), 563–576.
- Gao, X., & Feng, Z. J. (2005). Design study of an adaptive Fuzzy-PD controller for pneumatic servo system. *Control Engineering Practice*, 13(1), 55–65.
- Gulati, N., & Barth, E. J. (2009). A globally stable, load-independent pressure observer for the servo control of pneumatic actuators. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 14(3), 295–306.

- Gyeviki, J., Tóth, I. T., & Rózsahegyi, K. (2004). Sliding mode control and its application on a servopneumatic positioning system. *Transactions on Automatic Control and Computer Science*, 49(63), 1–6.
- Kaitwanidvilai, S., & Olanthichachat, P. (2011). Robust loop shaping-fuzzy gain scheduling control of a servo-pneumatic system using particle swarm optimization approach. *Mechatronics*, 21(1), 11–21.
- Nagi, F., & Perumal, L. (2009). Optimization of fuzzy controller for minimum time response. *Mechatronics*, 19(3), 325–333.
- Najafi, F., Fathi, M., & Saadat, M. (2009). Dynamic modelling of servo pneumatic actuators with cushioning. *The International Journal of Advanced Manufacturing*, 42(7), 757–765.
- Ning, S., & Bone, G. M. (2002). High steady-state accuracy pneumatic servo positioning system with PVA/PV control and friction compensation. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2824–2829.
- Padma, R., Srinivas, M. N., & Chidambaram, M. (2004). A simple method of tuning PID controllers for stable and unstable FOPTD systems. *Computers & Chemical Engineering*, 28(11), 2201–2218.
- Rahmat, M. F., Sunar, N. H., Najib-Salim, S., Mastura-Shafinaz, Z. A., Mohd-Fauzi, A. A., & Ismail, Z. H. (2011). Review on modelling and controller design in pneumatic actuator control system. *International Journal on Smart and Intelligent Systems*, 4(4), 630–661.
- Ramírez, I. (2013). Modelling and tracking control of a pneumatic servo positioning system. In *II international Congress of Engineering Mechatronics and Automation (CIIMA)*.
- Ramírez, I. (2018). Design of a tracking controller of a siso system of pneumatic servopositioning. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 74–96.
- Ramírez, I., & Ibarguen, F. (2016). Nonlinear control of a servo-pneumatic positioning system. Scientific and technical report No 695. Universidad del Quindío, Colombia.
- Rao, Z., & Bone, G. M. (2008). Nonlinear modeling and control of servo pneumatic actuators. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 16(3), 562–569.
- Saravanakumar, D., Mohan, B., & Muthuramalingam, T. (2017). A review on recent research trends in servo pneumatic positioning systems. *Precision Engineering*, 49, 481–492.
- Sobczyk, M. R., Perondi, E. A., & Suzuki, R. M. (2012). Feedback linearization control with friction compensation applied to a pneumatic positioning system. *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, 5, 252–261.
- Sorli, M., Gastaldi, L., Codina, E., & De las Heras, S. (1999). Dynamic analysis of pneumatic actuators. *Simulation Practice and Theory*, 7(5), 589–602.

- Takosoglu, J. E., Dindorf, R. F., & Laski, P. A. (2009). Rapid prototyping of fuzzy controller pneumatic servo-system. *The international Journal of Advanced Manufacturing*, 40, 349–361.
- Tsai, Y. C., & Huang, A. C. (2008). FAT-based adaptive control for pneumatic servo systems with mismatched uncertainties. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2(6), 1263–1273.
- Valdiero, A. C., Ritter, C. S., Rios, C. F., & Rafikov, M. (2011). Nonlinear mathematical modelling in pneumatic servo position applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2011, 1–16.

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.

El 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 correo 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
Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información

©AISTI 2018 <http://www.aisti.eu>

