EnfoqueUTE

REVISTA

www.ute.edu.ec

e-ISSN 1390-6542
p-ISSN 1390-9363

Volumen 8 - Sup.1 - Feb. 2017 - Edición Especial INCISCOS 2016

Enfoque UTE es una revista de carácter técnico-científico, que publica artículos sobre trabajos de investigación científica y tecnológica, revisión del estado del arte en un área específica del conocimiento y trabajos de vinculación con la comunidad en los cuales se realizaron actividades de investigación científica.

La revista abarca las áreas temáticas de las ingenierías Ambiental, de Alimentos, Automotriz, Industrial, Informática, Mecatrónica, y de Petróleos.

Enfoque UTE está dirigida a la comunidad de docentes, investigadores, y estudiantes universitarios, de pregrado y posgrado en general.

Enfoque UTE
Volumen 8 – Suplemento 1
Edición Especial INCISCOS 2016
Febrero – 2017

Derecho de autor – 049110

e-ISSN: 1390-6542 (electrónico) / p-ISSN: 1390-9363 (impreso)
Copyright © 2010 - 2016
Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias
Universidad Tecnológica Equinoccial

http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-mail: enfoque@ute.edu.ec
Teléfono: +593-(2)-2990-800 ext.2232
Dirección: Av. Mariscal Sucre (Occidental) y Mariana de Jesús, s/n.
Quito-Ecuador

Comité Editorial

Director

Diego Ordóñez Camacho, *Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador*

Comité Editorial

Juan Bravo Vásquez, *Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador*

Analía Concellón, *Universidad Nacional de La Plata, Argentina*

Albert Ibarz, *Universidad de Lleida, España*

Sergio Luján Mora, *Universidad de Alicante, España*

Alberto Medina León, *Universidad de Matanzas, Cuba*

Carlos Monsalve Arteaga, *Escuela Politécnica del Litoral*, Ecuador

María Gabriela Pérez, *Escuela Politécnica Nacional*, Ecuador

Jordi Saldo Periago, *Universidad Autónoma de Barcelona*, España

Neus Sanjuan, *Universidad Politécnica de Valencia, España*

Gabriela Vernaza Leoro, *Universidad San Francisco de Quito, Ecuador*

Fabián Villavicencio Abril, *Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador*

Jorge Viteri Moya, *Universidad Central del Ecuador, Ecuador*

Editores Invitados INCISCOS 2016

Sergio Luján Mora, Universidad de Alicante, España

Oswaldo Moscoso Zea, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Coordinador Editorial Invitado INCISCOS 2016

Joel Luis Paredes Gualtor, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Comité Editorial Invitado INCISCOS 2016

Ricardo Acosta Díaz, Universidad de Colima, México

Giancarlo Agostini, IAEN Instituto de Altos Estudios Nacionales, Ecuador

Alexander Águila, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Freddy Álvarez, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Héctor Ávalos, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Jaby Armas, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Santiago Meliá Beigbeder, Universidad de Alicante, España

Alberto Belalcazar, Universidad Central, Ecuador

Vladimir Bonilla, Universidad Tecnológica Equinoccial

Cristina Cachero Castro, Universidad de Alicante, España

Jonathan Carrillo, Universidad de las Américas, Ecuador

Diego Carrión, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Alejandra Cechich, Universidad de Camahue, Argentina

Malumbo Chipofya, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Alemania

Paúl Crespo Martínez, Universidad del Azuay, Ecuador

Andrés Cueva, Yachay EP, Ecuador

Yezid Donoso, Universidad de los Andes, Colombia

Silvia Berenice Fajardo, Universidad de Colima, México

Fausto Freire, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Edwin García, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Hugo Gálvez, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Marcela Genero, Universidad de Castilla-La Mancha, España

Estevan Gómez, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Wilson Guerrero, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

María Hallo, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Nelson Herrera, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Esteban Inga, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Bolívar Jácome, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Jenny Jácome, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Jens Lechtenbörger, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Alemania

Aníbal Mantilla, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Hugo Daniel Meyer, Barcelona Supercomputing Center, España

Daniel Mideros, Universidad Tecnológica Equinoccial

Carlos Monsalve, Escuela Politécnica del Litoral, Ecuador

Edison Mora, Pontificia Universidad Católica, Ecuador

Guillermo Mosquera, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Roberto Moya, Yachay EP, Ecuador

Vicente Merchán, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador

Rosa Navarrete, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Jairo Navarro, Universidad Central, Ecuador

Gabriel Pazmiño, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

María Pérez, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Ramón Pérez, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Rodrigo Proaño, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Erika Michel Ramos, Universidad de Colima, México

Pedro Damián Reyes, Universidad de Colima, México

Karina Rosas, Universidad Católica de Santamaría-Arequipa, Perú

Pablo Saá, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Ciro Saguay, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Steve Shih, Governor State University Chicago, Estados Unidos

Fanny Sandoval, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Mariela Tapia, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Litvin Anatoly Vitalyevich, Universidad Técnica Estatal del Don, Rusia

Javier Vivanco, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Juan Pablo Zaldumbide, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Índices / Catálogos / Bases de datos

Web of Science (Emerging Sources Citation Index) - Thomson Reuters
http://ip-science.thomsonreuters.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=MASTER&Full=Enfoque%20UTE

DOAJ (Directory of Open Access Journals)
https://doaj.org/toc/1390-6542

OAJI (Open Academic Journals Index)
http://oaji.net/journal-detail.html?number=1783

GIF (Global Impact Factor)
http://globalimpactfactor.com/enfoque-ute/

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico)
https://www.redib.org/recursos/Record/oai_revista1886-enfoque-ute

Catálogo Latindex
http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=22038

Universia
http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/enfoque-ute/id/58440243.html

Sherpa / Romeo
http://www.sherpa.ac.uk/romeo/search.php?issn=1390-6542

Stanford University Libraries
https://searchworks.stanford.edu/view/10222186

Latinoamericana
https://revistaslatinoamericanas.org/participantes/ (# 178)

CiteFactor
http://www.citefactor.org/journal/index/10856

OALib
http://mailer.oalib.net/journal/5934

WorldCat
http://www.worldcat.org/title/enfoque-ute-revista-cientifica/oclc/856580285

Electronic Journals Library
https://opac.giga-hamburg.de/ezb/detail.phtml?bibid=GIGA&lang=en&jour_id=205084

Academic Journals Database
http://journaldatabase.info/journal/issn1390-6542

Scientific Indexing Services
http://www.sindexs.org/JournalList.aspx?ID=1491

ResearchBib – Academic Resource Index
http://journalseeker.researchbib.com/view/issn/1390-6542

DRJI (Directory of Research Journals Indexing)
http://drji.org/JournalProfile.aspx?jid=1390-6542

Journal TOCs
http://www.journaltocs.ac.uk/index.php?action=browse&subAction=pub&publisherID=2651&journalID=28767

Google Scholar
http://scholar.google.com/scholar?q=Enfoque+UTE

Contenido

Cursos MOOC: factores que disminuyen el abandono en los participantes **pp. 1 - 15**
Marco Yamba-Yugsi, Sergio Luján-Mora

Detección de Contornos utilizando el Algoritmo Canny en Imágenes Cross-Espectrales Fusionadas **pp. 16 - 30**
Patricia Suárez, Mónica Villavicencio

Un enfoque para la optimización de pagos móviles para el sistema de transporte utilizando (NFC) a través de Cloud Computing **pp. 31 - 45**
Estevan Gómez Torres, Nelson Herrera Herrera, Magí Paúl Díaz

Análisis de la accesibilidad de los sitios web de las universidades ecuatorianas de excelencia **pp. 46 - 61**
Tania Acosta, Sergio Luján-Mora

Evaluación de la Calidad de Liderazgo en el Gobierno de Tecnologías y Sistemas de Información **pp. 62 - 76**
Vicente Merchán, Rocío Rodríguez

Implementación de una base de datos relacional difusa. Caso práctico: tutoría académica **pp. 77 - 91**
Ciro Saguay, Rodrigo Proaño, Bolívar Jácome, Denisse Aguirre

Equipos biomédicos coadyuvantes para el control de la nutrición y para el ejercicio físico de personas con diabetes **pp. 92 - 106**
Aníbal Rubén Mantilla Guerra

Ecu@Risk, Una metodología para la gestión de Riesgos aplicada a las MPYMEs **pp. 107 - 121**
Esteban Crespo Martínez

Transporte público inteligente al alcance de sus manos **pp. 122 - 134**
Juan Pablo Rojas, Julio César Bustos, Diego Ordóñez Camacho

Desarrollo de Arquitectura Empresarial usando un Framework con Enfoque Agil **pp. 135 - 147**
Fanny Sandoval, Víctor Galvez, Oswaldo Moscoso

Sistemas basados en conocimiento como herramienta de ayuda en la auditoría de sistemas de información **pp. 148 - 159**
Rodrigo Arturo Proaño Escalante, Ciro Napoleón Saguay Chafla, Segundo Bolívar Jácome Canchig, Fanny Sandoval Zambrano

Seguridad de la información en el intercambio de datos entre dispositivos móviles con sistema Android utilizando el método de encriptación RSA **pp. 160 - 171**
Fernando Solís, Diego Pinto, Santiago Solís

Estimación del tamaño de la muestra para pruebas de usabilidad **pp. 172 - 185**
Alex Cazañas, Andre de San Miguel, Esther Parra

Soluciones de Bajo Costo Usando el Modelo Infraestructura como Servicio con Alta Disponibilidad y Virtualización **pp. 186 - 200**
Cesar Armando Moreira Zambrano, Walter Daniel Zambrano-Romero, Rene Guamán-Quinché, Wilner Geoberti Cuenca Álava

Evaluación de la Técnica de Visualización Basada en Grafos: Un Experimento Controlado **pp. 201 - 216**
Germán Oswaldo Cárdenas, Jairo Aponte

Herramienta para evaluar cuantitativamente el proceso de formación informal que tiene lugar a través de una aplicación Facebook. **pp. 217 - 231**
Adolfo Calle-Gómez, Félix Fernández-Peña, Pilar Urrutia-Urrutia

Razonamiento basado en casos aplicado al diagnóstico médico utilizando clasificadores multi-clase: Un estudio preliminar **pp. 232 - 243**

D. Viveros-Melo, M. Ortega-Adarme, X. Blanco Valencia, A. E. Castro-Ospina, S. Murillo Rendón, D. H. Peluffo-Ordóñez

Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura **pp. 244 - 256**

Vanessa Alvear-Puertas, Paul Rosero-Montalvo, Diego Peluffo-Ordóñez, José Pijal-Rojas

Análisis no supervisado aplicado a la detección de arritmias cardiacas **pp. 257 - 272**

Mónica Moreno-Revelo, Sandra Patascoy-Botina, Andrés Pantoja-Buchelli, Javier Revelo Fuelagán, José Rodríguez-Sotelo, Santiago Murillo-Rendón, Diego Peluffo-Ordoñez

Análisis de Certificados SSL/TLS gratuitos y su implementación como Mecanismo de seguridad en Servidores de Aplicación. **pp. 273 - 286**

Mario E. Cueva Hurtado, Diego Javier Alvarado Sarango

Integración Vertical en plantas industriales utilizando OPC UA e IEC-61499 **pp. 287 - 299**

Marcelo V. García, Edurne Irisarri, Federico Pérez

Diseño e implementación de un Sistema de Medición Inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño **pp. 300 - 314**

Andrés F. Arciniegas M., David E. Imbajoa R., Javier Revelo F.

Metodologías Sugeridas de Evaluación y Selección de Software de Arquitectura Empresarial para la Digitalización del Conocimiento **pp. 315 - 328**

Oswaldo Moscoso-Zea, Sergio Lujan-Mora

Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas **pp. 329 - 343**

Manuel Quiñones-Cuenca, Víctor González-Jaramillo, Rommel Torres, Miguel Jumbo

Estrategias de diseño web para dispositivos móviles **pp. 344 - 357**

Alex Cazañas, Esther Parra

VALE-Emotions: Aplicación móvil de enseñanza para individuos con Desordenes del Espectro Autista **pp. 358 - 373**

Diana Olmedo-Vizueta, Jorge Hernandez-Ambato, Diego Ávila-Pesantez, Eleonora Bilotta, Pietro Pantano

Pizarra Virtual Compartida Websockets; una solución para trabajo remoto colaborativo **pp. 374 - 383**

Xavier Sotomayor, Diego Ordóñez Camacho

Prefacio

La presente edición especial de Enfoque UTE está dedicada a la International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS, edición 2016.

INCISCOS 2016 fue una multiconferencia para Ingeniería, Educación y Tecnología, dirigida a la comunidad nacional e internacional en el área de tecnología de información y ciencias afines. INCISCOS 2016 reunió a investigadores y profesionales interesados en los avances de los Sistemas de Información y las Ciencias de la Computación.

Esta edición especial de Enfoque UTE seleccionó e invitó a las mejores ponencias de la conferencia para que presenten una versión ampliada y mejorada de su trabajo. 26 artículos en total fueron finalmente aceptados para conformar este número.

Nuestro agradecimiento a todos los colaboradores que hicieron posible esta publicación.

Comité Editorial Invitado INCISCOS 2016
Quito, febrero 2017.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.1 - 15
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363

Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Cursos MOOC: factores que disminuyen el abandono en los participantes

(MOOCs: factors that decrease desertion in students)

Marco Yamba-Yugsi[1], Sergio Luján-Mora[2]

Resumen:
Estamos viviendo constantes cambios tecnológicos y las necesidades de aprendizaje y capacitación son cada vez mayores. Uno de esos cambios son los cursos masivos abiertos en línea (MOOC). Como este es un nuevo tipo de curso en línea en nuestro entorno y el índice de abandono es alto, es imprescindible su análisis para conocer las razones de este y lograr disminuir la deserción de usuarios en cursos MOOC. Para ello, se propone conocer diferentes factores del problema, como por ejemplo la experiencia previa de los usuarios en la realización de cursos MOOC, el nivel de satisfacción en la interacción con las plataformas que alojan cursos MOOC y la satisfacción en general al finalizar un curso. Además, el conocer el perfil de los usuarios facilitará que los futuros cursos se adapten a ellos, aunque conlleve incrementar el equipo de trabajo. Con el fin de que estos se sientan acompañados, con ánimo de seguir el curso y que posean una nueva experiencia de aprendizaje.

Palabras clave: Cursos MOOC; plataformas virtuales; proyecto Mineduc; abandono.

Abstract:
We are experiencing constant technological change, which implies that learning and training requirements have been increased, they are increasingly high. One of these changes are Massive Open Online Courses (MOOC). As this is a new technology in our environment, the amount of desertion is high, it is essential to the analysis, to know the reasons of the high amounts of desertion and reduce the dropout of users in MOOC courses. For that, it is proposed to meet the different factors of the problem, for example, previous experience of users in making the MOOC courses, the level of satisfaction in the interaction with platforms that have courses MOOC and satisfaction by the end of a course. Additionally, knowing the user's profile will make it easier for future courses suit them, although entails increasing the team and tailor a course to users, for the purpose of that they feel supported, intending to follow course and that they possess a new learning experience.

Keywords: MOOC courses; virtual platforms; Mineduc project; abandonment.

[1] Instituto de Altos Estudios Nacionales (CEC-IAEN), Quito – Ecuador (myamba@cec-iaen.edu.ec).
[2] Universidad de Alicante, Alicante – España (sergio.lujan@ua.es).

1. Introducción

1.1. Un poco de historia acerca de los MOOC

El año 2012 el periódico *The New York Times* declaró como el año de los MOOC (Pappano, 2012) y un sinnúmero de empresas empezaron sus emprendimientos en desarrollo de plataformas MOOC, siendo las principales actualmente Udacity, Coursera, Open edX, Udemy y Miríada X.

No obstante, la historia de los MOOC empezó cuatro años antes, en agosto de 2008, con el proyecto CCK08 (curso "Connectivism and Connective Knowledge") dictado por George Siemens y Stephen Downes (Lazo & Contreras, 2013). En este curso de 12 semanas de duración se inscribieron aproximadamente unos 2.300 estudiantes de diferentes partes del mundo. Evidentemente, no tuvo el mismo éxito que los MOOC actuales, pero abrió el camino a los que hoy en día se dan (Pernías & Luján-Mora, 2013). El mismo año fue acuñado el término MOOC por Dave Cormier y Brian Alexander, haciendo alusión a los Massively Multiplayer Online Game (Cabero, Llorente, & Vázquez, 2014).

Posteriormente, "George Siemens, Stephen Downes y Dave Cormier organizaron otros cursos MOOC similares (CCK09, CCK11, CCK12, Future of Education, PLENK, LAK11, LAK12, Change11, Critical Literacies), que en total acumularon más de 20.000 inscripciones entre todos ellos" (Pernías & Luján-Mora, 2013).

Los MOOC captan el total interés y la atención de los académicos y público general, puesto que se relacionan con la pedagogía eficiente y principios de diseño, derechos de autor y la garantía de calidad en la educación a distancia y en línea. Demuestran visiblemente ser una iniciativa eficaz para el aprendizaje cotidiano, pues ofrecen mucha información útil (Lazo & Contreras, 2015).

Cada término de las siglas MOOC puede ser negociable. Es decir, no se tiene que cumplir con el significado de cada una de las letras de MOOC (Luján-Mora, 2013). Este puede ser en línea pero no abierto a todo público, o también abierto pero no tiene que ser totalmente gratis, como hacen las principales plataformas que cobran por el certificado acreditado por la universidad que da el curso.

1.2. Importancia

A partir del éxito del curso de Inteligencia Artificial impartido por la Universidad de Stanford, un buen número de las universidades se interesó por este tema (Haywood & Macleod, 2014). Los MOOC emergieron como el canal ideal para instruirse cuando y donde uno quiera; tienen un gran

potencial para proporcionar oportunidades para las personas de todo el mundo (Sanchez-Gordon & Luján-Mora, 2014).

Un propósito es contribuir al aprendizaje inclusivo, ya que pueden brindar una experiencia para miles de usuarios de todas las condiciones y discapacidades al mismo tiempo (Sanchez-Gordon & Luján-Mora, 2016). Con esta promesa los MOOC ayudarían a democratizar la educación, llegando a una educación inclusiva sin barreras.

Las plataformas MOOC ofrecen a los estudiantes la oportunidad de capacitarse y obtener certificados internacionales (Borrás, Martínez, & Fidalgo, 2014). En estos cursos se imparten temas que son de interés general, para una región, un país o un sector en específico (Mailhes & Raspa, 2015), dependiendo de la plataforma a la cual se registre el usuario. También dan la posibilidad de comprar el certificado de la universidad que ha dado el curso. Es decir, se usan como herramientas que ofrecen a los estudiantes la oportunidad de capacitarse y aumentar el conocimiento, de una forma bastante económica.

Los cursos MOOC pueden ayudar a las clases presenciales como un recurso adicional en algunas asignaturas (Luján-Mora, 2013) facilitando el quehacer tanto del docente como del estudiante, mediante contenidos de calidad que facilitan las mejores universidades del planeta.

1.3. Abandono

Una forma diferente de aprender hoy en día es a través de los MOOC, que se están integrando poco a poco al sistema educativo tradicional y a la vez, mejorando las oportunidades de aprendizaje. Sin embargo, el abandono de participantes en los MOOC es muy alto, como se puede evidenciar en el estudio realizado por la Universidad de Pennsylvania durante los años 2012 y 2013, en el proyecto “Penn GSE” donde dio como resultado que solo el 4% de los estudiantes concluía los MOOC; en este estudio se analizó un millón de usuarios de 16 cursos en la plataforma “Coursera” (Stein, 2013). Mientras que en 2015 solo un 15% de quienes iniciaron un MOOC lo terminó (Jordan, 2015).

En la última década, los estudiantes han examinado el proceso de aprendizaje de diversas maneras, cada vez más digitales e interactivas (Cormier & Siemens, 2010). La mayoría de estudiantes no están preparados, y el tener que realizar las tareas de una nueva manera aumenta considerablemente que estudiantes los abandonen.

Los entornos de aprendizaje desde sus inicios han presentado inconvenientes con el abandono de cursos por parte de sus estudiantes (MOOC-Maker, 2016). Los cursos MOOC no son la excepción y tienen un índice de abandono muy alto en la actualidad.

Los MOOC se encuentran en una etapa de “depresión de desilusión” (Sanchez-Gordon & Luján-Mora, 2016). El número deserciones en los cursos es la principal barrera por la cual han tenido opiniones negativas (Ramírez & Carrillo, 2016); por tal motivo, es necesario que más personas concluyan cursos y de esta manera las opiniones negativas disminuyan.

1.4. Contexto del Proyecto Mineduc

El Proyecto Mineduc es un convenio de capacitación entre dos instituciones públicas de Ecuador. Fue firmado en noviembre de 2014 entre el Ministerio de Educación (Mineduc) y el Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN), para capacitar a 5.000 docentes del Magisterio en el área de Educación General Básica (EGB). De este se encargaría el Centro de Educación Continua del IAEN (CEC-IAEN), al ejecutar cinco cursos (“Introducción a la plataforma”, “Matemática”, “Ciencias Naturales”, “Lengua y Literatura” y “Ciencias Sociales”). El proyecto concluyó en su totalidad en abril de 2016.

Para capacitar a los docentes fue necesaria una plataforma de educación masiva, para lo cual el IAEN puso a disposición la que tenía desde 2013, llamada formaX (anteriormente llamada upeX) (Sanchez-Gordon, Calle-Jimenez, & Lujan-Mora, 2015) para impartir cursos en línea, que fue construida bajo la tecnología de Open edX y es de uso libre y código abierto (edX Inc, 2016).

Los participantes provenientes de distintos lugares de Ecuador fueron escogidos por el Ministerio de Educación; ellos recibieron el curso totalmente en línea y la evaluación final fue presencial. El porcentaje de la nota en la plataforma mediante actividades realizadas fue de un 60% y el de la prueba final presencial de un 40%; sumados los dos, el participante debía cumplir con un 70% como mínimo para pasar en cada materia. Los que pasaron los cuatro cursos (a excepción de “Introducción a la plataforma”, que fue opcional) obtuvieron un certificado equivalente a 330 horas y podrían aplicar para el ascenso en el escalafón del Magisterio nacional.

En este artículo se presentan los dos primeros cursos, llevados a cabo desde el 10 de enero al 19 de septiembre de 2015. Estos se describen a continuación:

- **“Introducción a la Plataforma”.** El objetivo principal del curso fue capacitar a los docentes de Educación General Básica sobre el uso de la plataforma, desde el 10 de enero hasta el 10 de febrero de 2015. Este curso constaba de cuatro módulos, compuestos de diferentes recursos que brinda la plataforma, como videos cortos, lecturas, foros y cuestionarios.
- **“Matemática”.** Una vez concluido el primer curso se continuó con el de “Matemática”, que se llevó a cabo desde el 8 de julio hasta el 19 de septiembre de 2015. Fue el más largo de todos y constó de 6 módulos.

Según trabajos previos, la infraestructura inadecuada (MOOC-Maker, 2016), la incorrecta estructura del curso (Gomez & De la Garza, 2016), la falta de conocimiento técnico (MOOC-Maker, 2016) al iniciar el curso son los principales motivos del abandono de los MOOC.

El propósito de este artículo es dar a conocer los resultados encontrados en las encuestas, para que puedan ser aplicados en proyectos similares, o que sirvan como punto de partida para nuevas investigaciones. Así, nuevos usuarios terminarán cursos MOOC con éxito, basados en el nivel tecnológico que posean, contenidos y actividades interactivas.

El presente artículo aborda y explora varios temas: donde se empieza con la introducción, en la cual se describe la historia de los MOOC, importancia, abandono y el contexto del Proyecto Mineduc, en la cual se basó para elaborar este artículo. A continuación se explica el "Método", donde se revisan las herramientas tecnológicas de encuestas utilizadas, Encuestas realizadas, Mapeo de encuestas. En "Resultados" se presentan los datos de mayor relevancia para el estudio realizado en las dos encuestas a los 5.000 docentes, mediante descripciones gráficos y tablas. En "Discusión" se realiza una comparación de los datos obtenidos con estudios similares y para finalizar se detallan las conclusiones y recomendaciones del artículo presentado.

2. Método

Se plantearon objetivos de investigación, según los cuales se sacó estas preguntas de investigación: ¿cuál es el estado de ánimo, previo a participar en el curso MOOC?, ¿cuál es la principal motivación para concluir el curso?, ¿cuál es el nivel de satisfacción al concluir los dos cursos?

Las preguntas de investigación han sido divididas en las dos encuestas de forma sencilla y clara para que cualquier participante las pueda entender, mediante respuestas cerradas, ya sea de “Sí” o “No”, o a su vez utilizando la “Escala de Likert”, pues de esta forma se facilita la medición de los resultados, mediante la utilización de herramientas tecnológicas como Google Form[3] y Typeform[4].

Se realizó una encuesta de diagnóstico (ED) y otra encuesta de satisfacción (ES), al mismo tiempo que se impartían los dos MOOC dados en la plataforma formaX, de enero a septiembre de 2015, “Introducción a la plataforma” y “Matemática”. En estos se midió principalmente la experiencia previa, el estado de ánimo y la satisfacción de los participantes, al concluir con el

[3] Formularios de Google: https://www.google.com/intl/es-419/forms/about/
[4] Formularios de Typeform: https://www.typeform.com/

segundo curso de “Matemática”. Así se quiso lograr que la mayor cantidad de usuarios terminase el curso.

Se realizó una encuesta de diagnóstico al iniciar el curso “Introducción a la Plataforma”, mediante la que se deseaba conocer el perfil de los participantes: estado de ánimo, conocimiento informático y experiencia en los MOOC. Con los datos recopilados, el experto en contenidos y el diseñador instruccional debían organizar el siguiente curso “Matemática”, a través de recursos, actividades y tareas en la plataforma MOOC. El seguimiento del curso en los foros y el servicio de soporte técnico son importantes para realizar cambios en tiempo real, cuando varios usuarios tengan inconvenientes con el uso de algún recurso en la plataforma.

Luego de haber culminado los dos cursos, fue necesario saber sobre la satisfacción de los participantes. Por tal motivo, se desarrolló una encuesta de satisfacción, de forma anónima y opcional, tal como se manifestó en el mensaje de participación.

2.1. Herramientas de encuestas utilizadas

Una vez seleccionadas las preguntas que irían en cada encuesta, se procedió a cargar la ED en Google Forms, que fue embebido dentro del curso “Introducción a la Plataforma”, en la primera sección. En la ES en el curso de “Matemática”, por preferencias visuales y de adaptabilidad, optamos por Typeform, que da un mejor resultado visual cuando se lo embebe en la plataforma.

2.2. Encuestas realizadas

Se realizaron dos encuestas: la ED al comenzar el curso de “Introducción a la Plataforma” y la ES al finalizar el curso de “Matemática”. En las dos encuestas se colocó el siguiente mensaje: “La presente encuesta es anónima y opcional, con el fin de que se sienta en libertad de contestar de la mejor manera la encuesta”.

Las principales preguntas utilizadas para la ED fueron las siguientes:

6. Razones por las que realizará este curso (señala la opción preferente).

7. Si en la pregunta anterior respondió “otro”, indique la razón para realizar el curso.

8. ¿Qué expectativas caracterizan su participación en este curso?

    - Motivación.
    - Entusiasmo.
    - Interés.
    - Desconcierto.
    - Miedo.

Las principales preguntas utilizadas en la ES fueron las siguientes:

6. ¿Los medios utilizados (videos, foros, lecturas, etc.) estimularon y motivaron su participación en el curso?

8. ¿La forma de organizar el curso es adecuada?

9. ¿La metodología del curso ha fomentado la colaboración?

17. ¿La carga de trabajo del curso le pareció adecuada?

18. ¿Los cuestionarios de evaluación le han permitido evaluar su progreso en el curso?

19. ¿Los cuestionarios de evaluación tienen un grado de dificultad adecuado?

20. ¿La relación entre esfuerzo invertido y objetivos alcanzados le ha parecido adecuada?

21. ¿Cómo calificaría el apoyo del instructor durante el curso?

22. ¿Ha tenido algún tipo de problema a la hora de presentar un trabajo o un *quiz*, por este medio?

23. ¿Cómo calificaría la navegación en la plataforma?

2.3. Mapeo de Encuestas

Para una mejor comprensión de las preguntas distribuidas en las dos encuestas, es conveniente agruparlas de acuerdo a los objetivos, los cuales son:

- Medir el nivel de conocimiento tecnológico de los participantes en el curso MOOC.
- Conocer el estado de ánimo previo a participar en el curso MOOC.
- Medir la organización, colaboración y evaluación del curso.

Medir el nivel de conocimiento tecnológico de los participantes en el curso MOOC

Este objetivo tiene relación con las preguntas (3, 4, 5, 6 y 10) de la ED y este, a la vez, tiene relación con las preguntas (4, 6, 9, 10, 11 y 12) de la ES.

Para medir el nivel de conocimiento se dividieron las preguntas en las dos encuestas: la primera al inicio del curso “Introducción a la Plataforma”, con el objetivo de saber la experiencia que tenían los participantes en cursos MOOC; en el segundo curso, “Matemática”, se quiso conocer la satisfacción en la interacción con las herramientas de la plataforma.

Conocer el estado de ánimo previo a participar en el curso MOOC

Este objetivo tiene relación con las preguntas (7, 8 y 9) de la ED y este, a la vez, tiene relación con la ES en la pregunta (13).

Para un correcto manejo del curso, no solo es necesario conocer acerca de la tecnología, sino también la actitud y la disposición emocional que el usuario tiene para participar en el curso. Si el usuario tiene una actitud positiva el curso tendrá más posibilidades de ser un éxito.

Medir la organización colaboración y evaluación del curso

Este objetivo tiene relación con las preguntas (2, 5, 7, 8, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22).

Las preguntas fueron planteadas al final del segundo curso, para conocer el grado de conformidad respecto a los recursos y actividades planteadas en el curso.

3. Resultados

En el curso de Matemática participaron 5.000 docentes y aprobaron 3.060, correspondientes a un 62,1%. Un porcentaje superior a los que se tuvo en cursos MOOC durante 2015 que fue de un 15% (Jordan, 2015).

En la ED participaron 367 personas, mientras que en la ES participaron 3.020 personas. La diferencia del número de participantes en las dos encuestas se debió a que el primer curso fue opcional y el segundo ya contaba para el certificado de 330 horas.

Pregunta 6 (ED): Razones por las que realizará este curso (señala la opción preferente)

La mayoría, el 82,6% correspondiente a 303 personas, dijo que el curso lo realizó por “Aplicar en la actividad como profesor”. Solo 4, correspondientes al 1,1%, contestaron por ser por exigencia de la institución, como se puede observar a continuación en la *Figura 1*, en la que se muestran los porcentajes de las razones declaradas para realizar el curso.

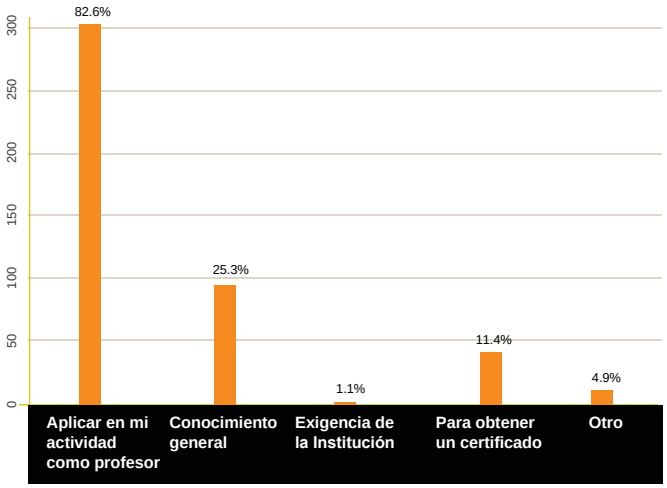


Figura 1. Razones por las que profesores realiza el curso “Introducción a la plataforma” en Ecuador, 2015.

Pregunta 8 (ED): ¿Qué expectativas caracterizan su participación en este curso?

Para conocer el estado de ánimo de los participantes en los cursos se realizaron, en la ED, tres preguntas con expectativas positivas (Motivación, Entusiasmo e Interés) y dos con expectativas negativas (Desconcierto y Miedo). Para evaluar se utilizó una escala de “nada”, “poco”, “medio”, “mucho” y “no aplica”, en la que los resultados han sido positivos, como se puede ver en la el *Figura 2*, donde se muestra el estado de ánimo de los usuarios traducido en porcentajes.

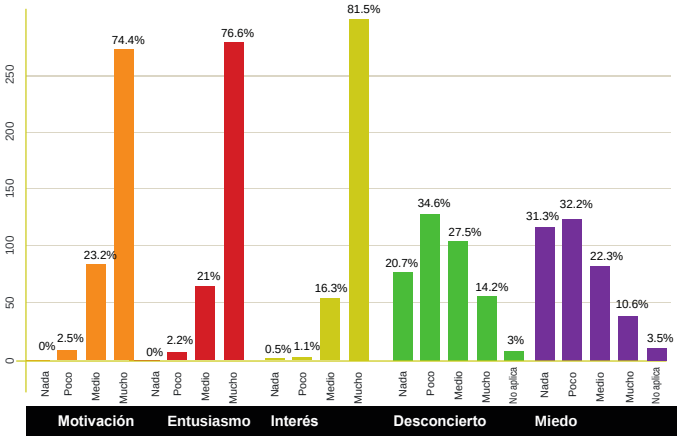


Figura 2. Estado de ánimo previo al inicio del curso “Introducción a la plataforma” en Ecuador, 2015.

En la segunda encuesta ES, se plantearon las preguntas de manera diferente. Para poder conocer los resultados se basó en la “Escala de Likert” con 5 niveles, donde 1 significa que el participante está “totalmente de acuerdo”; 2, “de acuerdo”; 3, “ni en acuerdo ni en desacuerdo”; 4, “en desacuerdo”; y 5, “totalmente en desacuerdo”.

En esta encuesta participaron 3.020 personas y se obtuvieron resultados positivos en cuanto a nuestra pregunta de investigación: ¿cuál es el nivel de satisfacción al concluir los dos cursos?, que van desde un 40% a un 56% de estar “Totalmente de acuerdo”, como se puede observar en

la *Tabla 1*, que está relacionado con el número de participantes que aprobaron el módulo de Matemática correspondientes al 62,1%.

Tabla 1: Porcentajes de satisfacción en el curso "Matemática" en Ecuador, 2015.

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Pregunta 6 (ES): ¿Los medios utilizados (videos, foros, lecturas, etc.) estimularon y motivaron su participación en el curso?	51%	26%	14%	6%	3%
Pregunta 8 (ES): ¿La forma de organizar el curso es adecuada?	48%	27%	15%	6%	5%
Pregunta 9 (ES): ¿La metodología del curso ha fomentado la colaboración?	47%	29%	15%	5%	4%
Pregunta 17 (ES): ¿La carga de trabajo del curso le pareció adecuada?	40%	30%	16%	8%	6%
Pregunta 18 (ES): ¿Los cuestionarios de evaluación le han permitido evaluar su progreso en el curso?	56%	26%	12%	3%	3%
Pregunta 21 (ES): ¿Cómo calificaría el apoyo del instructor durante el curso?	40%	31%	16%	7%	6%
Pregunta 23 (ES): ¿Cómo calificaría la navegación en la plataforma?	55%	29%	10%	3%	2%

Pregunta 19 (ES): ¿Los cuestionarios de evaluación tienen un grado de dificultad adecuado?

De 3.020 encuestas, 2.346 respondieron que los cuestionarios tienen un grado de dificultad adecuado y esto corresponde al 78%, mientras que 674, que corresponden al 22%, no está de acuerdo con la dificultad dada a los cuestionarios.

Pregunta 20 (ES): ¿La relación entre esfuerzo invertido y objetivos alcanzados le ha parecido adecuada?

El grado de satisfacción entre esfuerzo y resultados alcanzados tiene un porcentaje alto, en el que 2.534 personas que corresponden al 84%, están de acuerdo. Mientras, 488 correspondientes al 16% responden que no están de acuerdo con los resultados obtenidos.

Pregunta 22 (ES): ¿Ha tenido algún tipo de problema a la hora de presentar un trabajo o un quiz, por este medio?

En cuanto a presentar tareas, 1.713 personas, correspondientes al 57%, dicen no haber tenido inconvenientes; mientras que 1.279 personas, que corresponden al 43%, dicen haber tenido problemas al realizar estas actividades.

4. Discusión

El resultado más interesante de la encuesta realizada fue el número de docentes que había participado en cursos MOOC: pese a pertenecer en su mayoría al sector rural, un 51,5% afirmó haber participado en un curso masivo, lo cual corresponde a 189 respuestas de un total de 367. Es un resultado que se iba en contra de todo pronóstico y no cabe duda que el acceso a Internet y a las TIC mejora día a día, dándonos una pauta que ha futuro la capacitación mediante cursos MOOC van a ser protagonistas y un complemento para las clases tradicionales.

En el ámbito de los cursos MOOC, las cifras de deserción son alarmantes “ya que a menudo son superiores al 90%” (MOOC-Maker, 2016). Pero esto se puede mejorar notablemente, siempre y cuando las condiciones sean las adecuadas.

En el estudio realizado por la Universidad de Pennsylvania durante los años 2012 y 2013, solo un 4% de los estudiantes que empezaron concluyeron los cursos (Stein, 2013). Por otro lado, Katy Jordan en 2015 nos dice que el 15% de los que empezaron concluyó el curso. A medida que el tiempo transcurre, se puede ver que más estudiantes terminan cursos MOOC, señalándonos que a futuro disminuirá el número de deserciones considerablemente.

Las principales razones por las que usuarios abandonan cursos MOOC son la mala organización del curso, la barrera tecnológica y el escaso tiempo (Leony, Muñoz-Merino, Ruipérez-Valiente, Pardo, & Delgado, 2015). Si se toman decisiones a tiempo, se puede disminuir de manera notable el índice de deserción de los cursos MOOC.

Un 82% de los participantes mencionó que realizó el curso para aplicar en la actividad como profesor, lo que viene a ser una motivación más para culminar el curso. En otros se pudo ver que escribieron la posibilidad de subir de categoría: mientras más incentivos y motivaciones tenga un usuario MOOC, más posibilidades tiene de concluir el curso, ya que en la actualidad hay un sinnúmero de plataformas que oferta cursos similares y de forma gratuita, pero cuyo certificado no ofrece las mismas condiciones que en este caso.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Hoy en día existen muchas plataformas MOOC, de renombre internacional por las universidades que dan los cursos y lo ofrecen de manera gratuita. Si deseamos que nuestro curso tenga buenos

resultados a pesar de la competencia, es necesario encontrar un valor agregado o diferenciador hace que los usuarios se motiven y concluyan un curso con éxito. Como en este caso el certificado fue avalado por el Ministerio de Educación del Ecuador, este valor agregado es algo que las demás plataformas no ofrecen.

La motivación previa por parte de los usuarios es de mucha importancia para la realización del curso. Según la encuesta realizada, la mayoría empezó con una actitud positiva y esto ayudó a que los demás se contagiaran de esa actitud, salvo casos puntuales en los cuales una persona empezó a realizar comentarios negativos acerca del curso en los foros de discusión. Se tuvo que conversar internamente acerca de los inconvenientes que esta tenía y solucionarlos, de lo cual se llegó a la conclusión que el manejo de la plataforma no fue el adecuado por parte de la persona participante.

Es necesario un equipo de trabajo interdisciplinar, para realizar un buen MOOC. Como mínimo: un gestor de proyectos, un experto desarrollador de contenidos, un diseñador instruccional, un realizador audiovisual, un diseñador gráfico, un diseñador de multimedios interactivos y un administrador de plataforma. Además un corrector de estilo, un instructor que dará seguimiento al curso y dos responsables de soporte técnico: un experto en la materia y otro experto en el manejo de la plataforma. En un curso con más presupuesto se puede ampliar el nivel de expertos, con lo cual el curso mejoraría notablemente tanto en la parte gráfica como pedagógica.

Si no se dispone del presupuesto ideal, se puede optimizar mediante la utilización de herramientas de autor, aplicaciones que nos faciliten el trabajo con resultados óptimos. A su vez se pueden utilizar plantillas (para ahorrar tiempo), aunque no será 100% enfocado a las necesidades del curso.

Los MOOC reducen el ruido informativo que existe en Internet, clasificando la información y empaquetándola en un solo lugar, desarrollando propuestas atractivas para estudiantes que normalmente pagan mucho dinero por un certificado (Calderón, Ezeiza, & Badiola, 2013). El tener acceso a información avalada por una institución y el realizar un convenio con alguna entidad que pague el curso por los estudiantes son incentivos adicionales para concluir un curso.

5.2. Recomendaciones

Es necesario sensibilizar, mediante correo electrónico o mensajes de texto, a los usuarios que no tienen experiencia en este tipo de cursos, que primero deben realizar el curso de “Introducción a la plataforma”, el mismo que ayuda para un mejor desempeño y comprensión del funcionamiento de los componentes del curso.

De ser necesario se debe quitar el porcentaje de calificación de cualquier componente que esté dando problemas a los usuarios y dejarlo como una actividad de aprendizaje. Por tal motivo se recomienda que sea gradual la dificultad de los ejercicios para que los usuarios, de a poco, puedan adaptarse. Esto sirve para que en futuros cursos de la secuencia, los usuarios puedan interactuar de forma correcta.

Para obtener mejores resultados en un curso MOOC, es recomendable que se busque el beneficio adicional a los tradicionales para sus participantes. Uno de ellos puede ser que el certificado sea avalado por otra institución u ofrecer un certificado impreso en lugar del digital. Esto hace que los participantes se motiven y escojan nuestra plataforma en lugar de otras que existen en Internet.

El mantener una actitud positiva, en la cual se pueda producir un ambiente agradable de trabajo, debe ser uno de los objetivos de los MOOC, similar a cuando se da una clase presencial, detectando el nivel de conocimiento con los cuales los alumnos se encuentran y manteniendo una mente abierta a los cambios. Estos factores se deben tomar en cuenta en cursos posteriores antes de iniciarse y, ya que son miles de usuarios, se debe estar atentos a cualquier actividad fuera de lo normal.

Se recomienda cambiar el contenido del curso de ser necesario, pues al principio no se sabe el nivel de conocimiento con que llega el usuario, pero con la ED y la participación en los foros es suficiente para darse cuenta.

Para usuarios que no manejan bien los recursos de la plataforma, es necesario tener la guía de uso, como material de consulta. También pueden ponerse en contacto con el equipo de soporte técnico, ya sea mediante el foro o cualquier otro medio, y resolver el inconveniente.

Debido a que el 43% han tenido problemas al realizar actividades, queda para trabajos futuros investigar que inconvenientes específicamente tuvieron y cuáles son los porcentajes en cada uno de ellos.

6. Bibliografía

Borrás, O., Martínez, M., & Fidalgo, Á. (2014). Gamification in MOOC: challenges, opportunities and proposals for advancing MOOC model. *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, 215-220.

Cabero, J., Llorente, M., & Vázquez, A. (2014). Las Tipologías de MOOC: Su Diseño e Implicaciones Educativas. *Profesorado*, 13-26.

Calderón, J., Ezeiza, A., & Badiola, J. (2013). La falsa disrupción de los MOOC: La invasión de un modelo obsoleto. *6º Congreso Internacional de Educación Abierta y Tecnología Ikasnabar*, (págs. 9-11).

Cormier, D., & Siemens, G. (2010). The Open Course: Through the Open Door--Open Courses as Research, Learning, and Engagement. *Educause Review, 45* (4), 30.

edX Inc. (18 de Julio de 2016). *Quality education for everyone, everywhere*. Recuperado el 4 de Septiembre de 2016, de edX: https://www.edx.org/about-us

Gomez, M., & De la Garza, L. (2016). Research Analysis on MOOC Course Dropout and Retention Rates. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 3-14.

Haywood, J., & Macleod, H. (2014). To MOOC or not to MOOC? University decision-making and agile governance for educational innovation. *Massive Open Online Courses: The MOOC Revolution*, (págs. 1-14).

Jordan, K. (12 de Junio de 2015). *MOOC Completion Rates: The Data*. Recuperado el 22 de Julio de 2016, de Katy Jordan: http://www.katyjordan.com/MOOCproject.html

Lazo, J., & Contreras, R. (2013). El Diseño en Ecuador: Comunidad de aprendizaje en un entorno cMOOC. *Conferencias LACLO*, (pág. 5).

Lazo, J., & Contreras, R. (2015). Using MOOCs as a Research Approach and As Contributors to Local Knowledge. *5th Annual International Workshop on Higher Education.*

Leony, D., Muñoz-Merino, P., Ruipérez-Valiente, J., Pardo, A., & Delgado, C. (2015). Detection and Evaluation of Emotions in Massive Open Online Courses. *Journal of Universal Computer Science, 21* (5), 638-655.

Luján-Mora, S. (6 de Junio de 2013). *Los MOOCs un año después: ¿qué ha pasado?, ¿qué va a pasar?* Recuperado el 22 de Julio de 2016, de YouTube: https://goo.gl/mmv281

Luján-Mora, S. (2013). De la clase magistral tradicional al MOOC: doce años de evolución de una asignatura sobre programación de aplicaciones web. *Revista de Docencia Universitaria (REDU), 11*, 279-300.

Mailhes, V., & Raspa, J. (2015). MOOC: De la revolución educativa a la supervivencia. *Letra. Imagen. Sonido. Ciudad Mediatizada.* (14), 75-91.

MOOC-Maker. (2016). Deserción y permanencia en entornos MOOC. *Construction of Management Capacities of MOOCs in Higher Education, 1*, 1-94.

Pappano, L. (2 de Noviembre de 2012). *The Year of the MOOC*. Recuperado el 22 de Julio de 2016, de The New York Times: https://goo.gl/1t0F8a

Pernías, P., & Luján-Mora, S. (2013). Los MOOC: orígenes, historia y tipos. *Comunicación y Pedagogía. Especial MOOC* (269-270), 41-47.

Ramírez, M., & Carrillo, A. (2016). MOOC as a viable option to energy sustainability and technological training. *Proceedings of the 9th annual International Conference of Education, Research and Innovation.*

Sanchez-Gordon, S., & Luján-Mora, S. (2014). MOOCs gone wild. *Proceedings of the 8th International Technology, Education and Development Conference (INTED 2014)*, (págs. 1449-1458).

Sanchez-Gordon, S., & Luján-Mora, S. (2016). How Could MOOCs Become Accessible? The Case of edX and the Future of Inclusive Online Learning. *Journal of Universal Computer Science, 22* (1), 55-81.

Sanchez-Gordon, S., Calle-Jimenez, T., & Lujan-Mora, S. (2015). Relevance of MOOCs for Training of Public Sector Employees: Enrollment, Completion and Web Accessibility Challenges. *14th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET 2015)*, *15*, págs. 11-13.

Sanchez-Gordon, S., & Luján-Mora, S. (2016). Barreras y estrategias de utilización de los MOOC. En H. P. Gómez, G. B. Alba, & M. L. Carlos, *La cultura de los MOOC para la innovación en educación superior desde contextos iberoamericanos* (págs. 141-160). Madrid: Editorial Síntesis.

Stein, K. (2013). Penn GSE study shows MOOCs have relatively few active users, with only a few persisting to course end. *Press release, University of Pennsylvania Graduate School of Education, 5*.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.16 - 30
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Detección de Contornos utilizando el Algoritmo Canny en Imágenes Cross-Espectrales Fusionadas

(Canny Edge Detection in Cross-Spectral Fused Images)

Patricia Suárez[1], Mónica Villavicencio[2]

Resumen:
Considerando que las imágenes de diferentes espectros proporcionan una amplia información que ayuda mucho en el proceso de identificación y distinción de objetos que tienen firmas espectrales únicas. En este trabajo se evalúa el uso de imágenes cross-espectrales en el proceso de detección de bordes. Este estudio evalua el detector de bordes Canny con dos variantes. La primera se refiere al uso de imágenes cross-espectrales fusionadas, y la segunda al uso de filtros morfológicos. Para garantizar la calidad de los datos utilizados en este estudio se aplicó el marco de trabajo GQM (Goal-Question-Metrics), la cual fue utilizada como marco de trabajo para reducir el ruido y aumentar la entropía en las imágenes. Después de realizar los experimentos. Las métricas obtenidas en los experimentos confirman que la cantidad y calidad de los bordes detectados aumenta significativamente después de la inclusión de un filtro morfológico y un canal de espectro infrarrojo cercano en las imágenes fusionadas.

Palabras clave: elementos estructurantes; GQM; filtros morfológicos; infrarrojo cercano; fusión; imágenes cross-espectrales.

Abstract:
Considering that the images of different spectra provide an ample information that helps a lo in the process of identification and distinction of objects that have unique spectral signatures. In this paper, the use of cross-spectral images in the process of edge detection is evaluated. This study aims to assess the Canny edge detector with two variants. The first relates to the use of merged cross-spectral images and the second the inclusion of morphological filters. To ensure the quality of the data used in this study the GQM (Goal-Question- Metrics), framework, was applied to reduce noise and increase the entropy on images. The metrics obtained in the experiments confirm that the quantity and quality of the detected edges increases significantly after the inclusion of a morphological filter and a channel of near infrared spectrum in the merged images.

Keywords: Structuring elements; morphological filter; GQM; near infrared; fusion; cross-spectral images.

1. Introducción

Los bordes se definen, en términos de procesamiento de imágenes digitales, como los lugares donde se produce un fuerte cambio de intensidad. Las técnicas de detección de bordes se requieren a menudo en diferentes tareas de procesamiento de imágenes y visión por ordenador ,

[1] Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador (plsuarez@espol.edu.ec)
[2] Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil –Ecuador (mvillavi@espol.edu.ec)

para la segmentación de imágenes, el reconocimiento de patrones, preservar importantes propiedades estructurales, etc. Estas tareas son aplicadas a áreas tales como la teledetección, la medicina, entre otras.

El proceso de detección de bordes sirve para simplificar el análisis de las imágenes reduciendo drásticamente la cantidad de datos a procesar, al mismo tiempo permite preservar la información estructural útil sobre las fronteras del objeto. Ciertamente hay una gran diversidad de aplicaciones para la detección de bordes, pero se considera que muchas de éstas aplicaciones comparten un conjunto común de requisitos entre ellos tener una baja tasa de error en el proceso de detección (Canny, 1986)

A lo largo de las últimas décadas se han propuesto distintas técnicas para la detección de bordes, por ejemplo, en (Ma, Gao, Yang, & Liu, 2010) se propone la detección de bordes mediante la aproximación de máscaras circulares y asociando cada punto de la imagen con un área local de brillo similar. El principal inconveniente de esa propuesta es la alta sensibilidad al ruido y la poca capacidad para discriminar bordes frente a texturas. Además, su precisión no es completamente robusta debido a la dependencia del parámetro de la desviación estándar del filtro gaussiano que se utiliza para la eliminación del ruido, el cual se selecciona de forma manual, lo que conlleva a pérdidas en la precisión de los resultados. Debido a estas limitaciones se ha propuesto la inclusión de filtros morfológicos que eliminan esta dependencia.

Las imágenes de diferentes espectros proporcionan el potencial para una extracción de información más precisa y detallada, de allí que, se han realizado estudios de imágenes proporcionadas por satélites para ser utilizadas en procesos de clasificación y medición de la exactitud de la resolución y características en las imágenes analizadas (Wilkinson., 2005). Se han realizado otros estudios basados en el reemplazo del filtro Gaussiano por otro adaptativo basado en la máxima probabilidad entre las clases y la medición de la entropía cruzada para obtener menor diferencia entre el fondo y los objetivos para obtener el nivel óptimo de los bordes (Wang & Wang, 2009). En dicho estudio se propone un método de dos etapas para la segmentación general de imágenes, que es capaz de procesar tanto objetos texturizados como no texturizados de una manera significativa.

También hay técnicas de detección de contornos, que calculan de forma adaptativa los umbrales de detección de borde basados en el tipo de bloque y la distribución local de los gradientes en el bloque de la imagen. (Xu, Varadarajan, Chakrabarti, & Karam, 2014). Así también se presentan técnicas basadas en la transformada de Shear que facilitan que los bordes direccionales sean más fáciles de detectar, con esto se mejora la calidad de los bordes detectados (Xu, Miao, Shi, Zhang, & Yang, 2012).

Algunas propuestas para análisis de imágenes de diferentes espectros se han realizado mediante la segmentación, es decir dividir una imagen en regiones disjuntas, de manera coherente con la percepción humana del contenido. Sin embargo, para la segmentación sin supervisión de imágenes generales, existe el requisito de no hacer suposiciones previas sobre la escena (O'Callaghan, Robert, & Bull., 2005). Por lo general, las aplicaciones de tele-observación cross-espectral o multiespectral, se aplican en proyectos que tienen alguno de los siguientes objetivos: Detección de objetivos (tumores, objetos, personas, etc.), mapeo de materiales, seguimiento, clasificación, segmentación, mapeo de las propiedades de las superficies para la identificación de materiales, etc (Pohl & Van). Cross-espectral se refiere a imágenes de sólo dos bandas, mientras que multiespectral se trata de imágenes de más de 2 bandas.

Considerando la importancia de analizar este tipo de imágenes cross-espectrales, es que se considera oportuno innovar con nuevas técnicas que permitan utilizar imágenes de espectro infrarrojo, de tal forma que se obtenga una mayor precisión en la detección de bordes. Por ello la importancia de definir métricas que nos permitan medir la calidad de los datos y resultados, para lo cual usaremos GQM.

Este artículo contribuye a:

1. Mejorar la detección de bordes en imágenes cross-espectrales haciendo uso de una variación de los filtros morfológicos propuestos en (Deng, Wang, & Yang, 2013).
2. Utilizar la metodología GQM para definir un proceso estructurado de evaluación de la calidad del pre-procesamiento de las imágenes a utilizar en los experimentos.

El resto del artículo está organizado como sigue, la sección II contiene el marco teórico, donde se describe el modelo GQM y el enfoque matemático del problema. La sección III presenta la metodología, donde se define el método de investigación, la selección y la preparación de los datos, el diseño del experimento, los experimentos, la sección IV que presenta el análisis de los resultados, y finalmente la sección V con las conclusiones del estudio.

2.- Marco Teórico

2.1 Enfoque GQM.

GQM es un mecanismo que provee un marco para definir un programa de métricas, fue diseñado en la universidad de Maryland como un mecanismo para formalizar las tareas de caracterización, planeación, análisis, aprendizaje y retroalimentación (Van Solingen, Basili, Caldiera, & Rombach, 2002). GQM no provee objetivos específicos, sino más bien un marco de trabajo que plantea los objetivos de medición y se los refina con preguntas para proveer una especificación más clara de los datos que se necesitan para alcanzar los objetivos planteados.

Originalmente desarrollado por V. Basili y D. Weiss, y ampliado con muchos otros conceptos de D. Rombach. GQM es el resultado de muchos años de experiencia práctica e investigación académica. GQM contiene cuatro fases: Planificación, Definición, Recolección e Interpretación de las mediciones. Utilizando GQM se han propuesto por ejemplo, modelos para monitorear los factores de éxito en la implementación de proyectos de sistemas ERP lo cual sirve para un mejor soporte administrativo durante la implementación. (Esteves, Pastor-Collado, & Casanovas, 2002).

GQM también has sido utilizado en la construcción de un modelo de calidad aplicable a los sistemas de interacción Hombre-Máquina relacionados al campo de la medicina para medir los puntos de vista de los diferentes grupos de usuarios involucrados en los procesos en un hospital como por ejemplos los médicos, enfermeras, auxiliares, etc. Con esta información retroalimentada las instituciones médicas pueden mejorar los procesos y la calidad de la atención a los pacientes, con lo cual se aporta al bienestar común de la sociedad. (Al-Nanih, Al-Nuaim, & Ormandjieva, 2009).

Hay que considerar que es importante realizar la validación formal, empírica y la explicación filosófica de las métricas que se definan ussndo GQM. (Calero, Piattini, & Genero, 2001)

2.2 Enfoque Matemático del Problema.

Los sensores cross-espectrales permiten captar imágenes correspondientes a diferentes bandas del espectro, para una misma área en la superficie terrestre. Dado que diferentes materiales tienen características espectrales diferentes, dichas imágenes ofrecen una herramienta muy efectiva para discriminar y clasificar diferentes objetos. Sin embargo, existen varias dificultades a la hora de abordar el proceso de clasificación de imágenes cross-espectrales. Existen algunas técnicas de detección de características en imágenes 2-D, basadas en una óptima obtención de bordes que deben ser invariantes a factores de la escena; que se basan en los cambios bruscos de intensidades generados por discontinuidades en la superficie o por límites definidos por cambios en la reflectancia o iluminación en la imagen (Ma, Gao, Yang, & Liu, 2010), (Marr & Hildreth, 1980). También hay propuestas de detección de contornos basadas en la detección precisa de las formas en imágenes de dos dimensiones (2-D), obteniendo una función escalonada para modelar la sección transversal del contorno de la forma, derivando a una sola dimensión (1-D), que minimiza tanto el ruido como el error cuadrático medio entre la entrada y la salida del filtro utilizado (Rosenfeld, 1970).

Este trabajo explora el uso del espectro visible y el infrarrojo cercano (NIR) para la función de detección de los bordes en las imágenes. En particular, investigamos generalizaciones cross-espectrales del detector bordes Canny para mostrar que estos dan una marcada mejoría en el rendimiento cuando el canal de IRC adicional está disponible.

En la visión por computador, es necesario establecer puntos coincidentes entre diferentes imágenes, de tal forma que, al relacionarlas, podamos extraer información de las mismas y tomar acción sobre ellas. (Elder & Zucker, 1998). Cuando hablamos de puntos coincidentes nos referimos de manera general a las características de la escena que necesitamos reconocer de manera única y con facilidad. La mayoría de las imágenes se ven siempre afectadas por ruido, y una de las debilidades del algoritmo de Canny, es que hace uso del filtrado Gaussiano. Dicho filtro tiene la deficiencia de la adaptabilidad al tipo de ruido; por ende, se pudieran detectar bordes falsos o perder bordes, dado que el proceso de filtrado los ha removido.

Basados en el operador convencional del algoritmo de Canny y en muchas otras técnicas como la lógica difusa, la transformada Wavelet, control de escala lineal y filtrado morfológico o lineal sugeridos en los artículos de : (Patel, Dhiraj, Sagar, & More, 2013), (Xia, Yao, Chang, & Zhong, 2010), (Demigny, 2002), (Xu, Weaver, & Healy, 1994), (Heric & Zazula, 2007), (Elder & Zucker, 1998), nuestro artículo propone realizar una variación del filtro morfológico presentando en (Deng, Wang, & Yang, 2013), donde se reemplaza el filtro gaussiano que presenta la debilidad de la selección manual de la varianza para realizar la reducción del ruido. Este estudio utiliza en los experimentos imágenes cross-espectrales fusionadas para evaluar las variantes propuestas. La técnica utilizada por el algoritmo de Canny es la obtención de los bordes diferenciales, las fases se detallan a continuación:

- Filtrado
- Obtención de la magnitud y orientación del gradiente
- Supresión de los no máximos al resultado del gradiente.
- Umbralización con histéresis

El propósito del filtrado de una imagen es disminuir el ruido. Cuando se utiliza un filtro Gaussiano se debe escoger de forma manual el grado de amplitud del suavizado (la varianza σ) a aplicar a la imagen. Esto se puede considerar como una debilidad del proceso, ya que cada imagen puede tener tipos y niveles de ruido diferentes y por ende en ciertos casos se necesitará definir una varianza más alta o más baja. Si se deja de manera constante un mismo valor de varianza, se podrían perder los detalles de la imagen por tener valores muy altos, o en su defecto, poca reducción de ruido al utilizar valores muy bajos (Zue, Li, & Wang, 2010).

La morfología matemática es una técnica de procesamiento no lineal de la señal caracterizada para realzar la geometría y forma de los objetos (O'Callaghan, Robert, & Bull., 2005). El objetivo de las operaciones morfológicas es la extracción de figuras geométricas de los conjuntos sobre los que opera, dicha extracción se realiza mediante el uso de otro conjunto denominado, elemento estructurante, el tamaño y forma de este elemento se lo elige en función de la morfología que se

desea aplicar y la obtención de la forma del elemento que se desea extraer. El elemento estructurante se desplaza de manera sistemática a través de toda la imagen a procesar, realizando cualquiera de las operaciones existentes, a saber: erosión, dilatación, apertura y cierre (Deng, Wang, & Yang, 2013).

De acuerdo a lo presentado en (Deng, Wang, & Yang, 2013), asumiendo una imagen F(x,y) en escala de grises y un elemento estructurante B(s,t), las operaciones básicas de morfología en escala de grises propuestas por el autor son :

1) Dilatación: $F \oplus B=\max\{(F(x-s,y-t)+B(s,t)\}$
2) Erosión: $F \ominus B=\min\{(F(x-s,y-t)-B(s,t)\}$
3) Apertura: $F \circ B=(F \ominus B) \oplus B$
4) Cierre: $F \bullet B=(F \oplus B) \ominus B$

Su propuesta utiliza dos elementos estructurales tipo diamante, uno de 3 x 3 elementos y el otro una combinación de 5x5 elementos, los que se visualizan a continuación:

$$A=\begin{pmatrix}0 & 1 & 0\\ 1 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{pmatrix},\quad B=\begin{pmatrix}0 & 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0\\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

De tal forma, que la operación de filtrado de apertura-cierre de una imagen está dado por:

$$F_{sinruido} = (F \circ A) \bullet B$$

El presente artículo propone un cambio en las operaciones morfológicas, puesto que se están utilizando imágenes cross- espectrales fusionadas las cuales contienen menos ruido. Por lo expuesto, se propone una variante en el tamaño y la geometría de los elementos estructurantes. Esta variante nos permite mantener la información del detalle de los bordes de las imágenes, al reducir la capacidad de eliminación de ruido, debido a que estamos utilizando imágenes cross-espectrales fusionadas. Los cambios propuestos se detallan a continuación:

1.- Cambiar el segundo elemento estructurante, diamante 5x5 por uno de 3x3 del mismo tipo.

$$A=\begin{pmatrix}0 & 1 & 0\\ 1 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{pmatrix},\quad B=\begin{pmatrix}0 & 1 & 0\\ 1 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{pmatrix}$$

2.- Realizar una nueva operación de filtrado, la cual consiste de apertura-cierre-dilatación aplicados a la imagen F(x,y), la misma que está dada por:

$$F_{sinruido} = ((F \circ A) \bullet B) \oplus B$$

Esta propuesta permite mejorar la conservación de los detalles de la imagen, al reducir el kernel B a un tamaño de 3 x 3, generando un menor suavizado también, al cambiar el modelo morfológico, ya que se incluye una operación adicional de dilatación, se reducen los cambios de las altas frecuencias de la imagen, preservando la información de los cambios de intensidades de forma más homogénea reduciendo los bordes falsos positivos.

3. Metodología

3.1 Definición del Método de Investigación

De acuerdo a lo propuesto por Runkel y McGrath (1972). El presente trabajo utiliza el método de experimentos de laboratorio, utilizando métricas previamente definidas para el diseño experimental,

Se utilizaron métodos cuantitativos con el objetivo de probar o descartar la hipótesis planteada con respecto a la mejora en la calidad de la detección de bordes propuesta por Canny, Se estima una mejora debido a la utilización de filtros morfológicos, con imágenes cross-espectrales, que al tener una mayor entropía; son menos susceptibles al ruido, y se obtienen contornos con mayor precisión y menor cantidad de bordes falsos positivos.

El pre-procesado toma las imágenes de ambos espectros, y realiza la fusión de las mismas. El proceso de fusión consiste en reemplazar la información de un canal de la imagen visible por la imagen infrarroja. De las tres posibles combinaciones (R,G,NIR), (R,NIR,B) y (NIR,G,B) se selecciona la que genere la mayor varianza de intensidades. Para nuestro caso es: (NIR,G,B); donde NIR es infrarrojo cercano, R es red, G es Green y B es blue. Luego se ejecuta el algoritmo de Canny original y el propuesto con las variantes matemáticas, se miden los resultados obtenidos y se realiza el análisis comparativo.

3.2 Selección de datos

Los datos fueron obtenidos de la base de datos del laboratorio de Visión por Computador de la Universidad Politécnica Federal de Lausana. Esta base de datos consiste de 477 imágenes categorizadas en 9 grupos capturadas en RGB (Espectro Visible) y NIR (Near Infrared). Para este estudio utilizaremos las imágenes de la categoría “Urban”,[3] debido a que las imágenes de dicha categoría son las más afectadas por condiciones de variación de iluminación y texturas lo cual incide de manera directa en la variabilidad y complejidad de la detección de los contornos de las imágenes y por ende se constituyen en los escenarios más propicios para la evaluación de la variante propuesta a nivel de los filtros morfológicos.

[3] http://ivrl.epfl.ch/cms/site/ivrg/lang/en/supplementary_material/cvpr11/index.html

Se seleccionaron 150 pares de imágenes de dicha categoría para evaluar la detección de los contornos utilizando el algoritmo con la variante propuesta, junto con el original de Canny para obtener los resultados y efectuar la respectiva evaluación comparativa.

3.3 Fusión de Imágenes Cross-espectrales: Uso de GQM

Para realizar los experimentos de detección de bordes con imágenes cross-espectrales fusionadas es necesario: pre-procesar las imágenes para reducir el ruido, y mejorar la entropía determinando cual es la mejor combinación de canales del espectro que permitan obtener una imagen fusionada que genera la mayor varianza de intensidades de forma que se puedan obtener los bordes con mejor precisión.

En este estudio se definieron las siguientes metas para el pre-procesamiento de las imágenes:

1.- Reducir ruido de una imagen

2.- Fusionar imágenes de diferentes espectros

La siguiente etapa es definir las preguntas que van a recolectar la información cuantitativa, y luego determinar las métricas necesarias para preparar de la mejor forma las imágenes a procesar. Se pueden observar los modelos GQM planteados para cada una de las metas previamente descritas. Ver *Figura 1* y *Figura 2*.

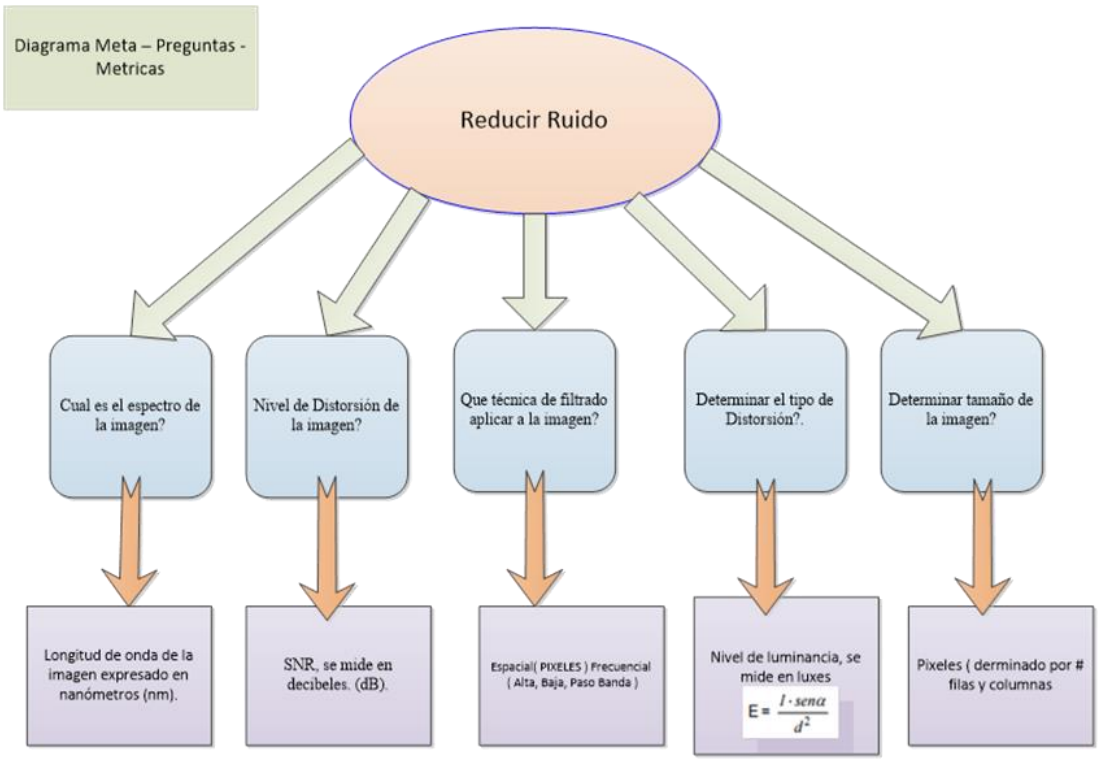


Figura 1. Modelo GQM para la Reducción del Ruido

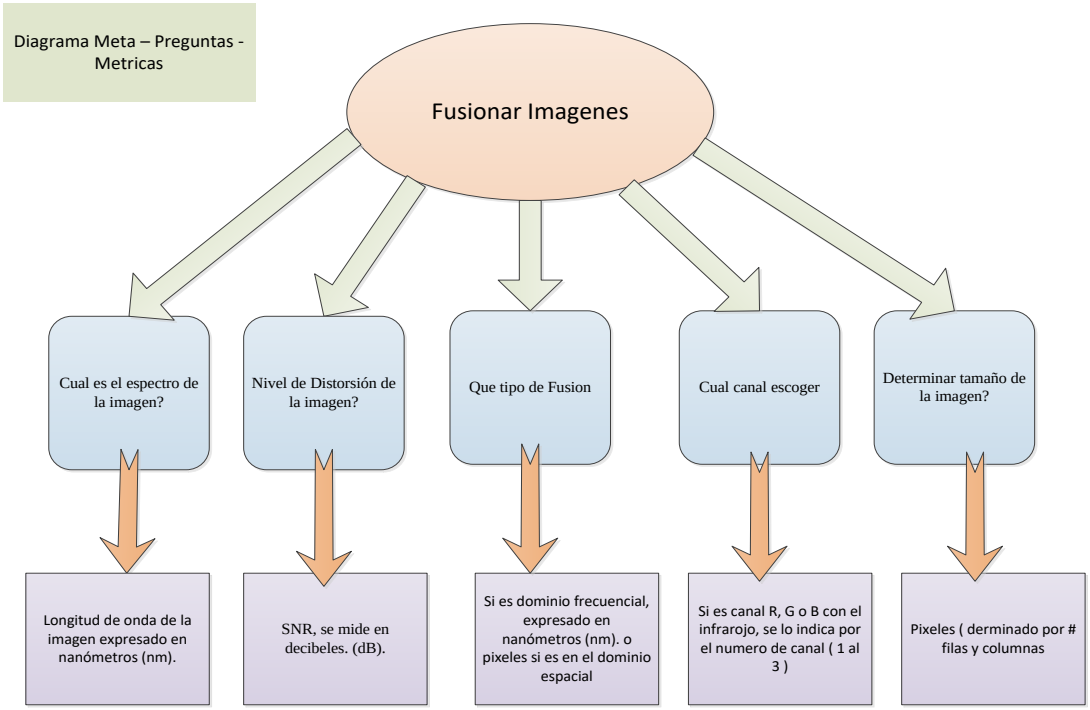


Figura 2. Modelo GQM para fusión Imágenes por Canales

Para preparar las muestras de las imágenes fusionadas se realiza la separación de las bandas de las imágenes del espectro visible (R-rojo, V-verde, B- azul) y se fusiona con la imagen del espectro infrarrojo cercano. Aplicando el modelo GQM mostrado en la *Figura 2*, para la fusión de imágenes se obtienen las métricas que determinaron que la mejor entropía se logra con la combinación (NIR,G,B). Con lo cual es posible iniciar los experimentos y utilizar las imágenes fusionadas para la detección de los contornos de Canny modificado por las variantes morfológicas propuestas y comprobar así que existe una mejora de los resultados de la detección.

Un ejemplo de los resultados de las imágenes obtenidas con la fusión propuesta, (las que tienen la mejor entropía), se presenta en la *Figura 3* (categoría “Urban”).

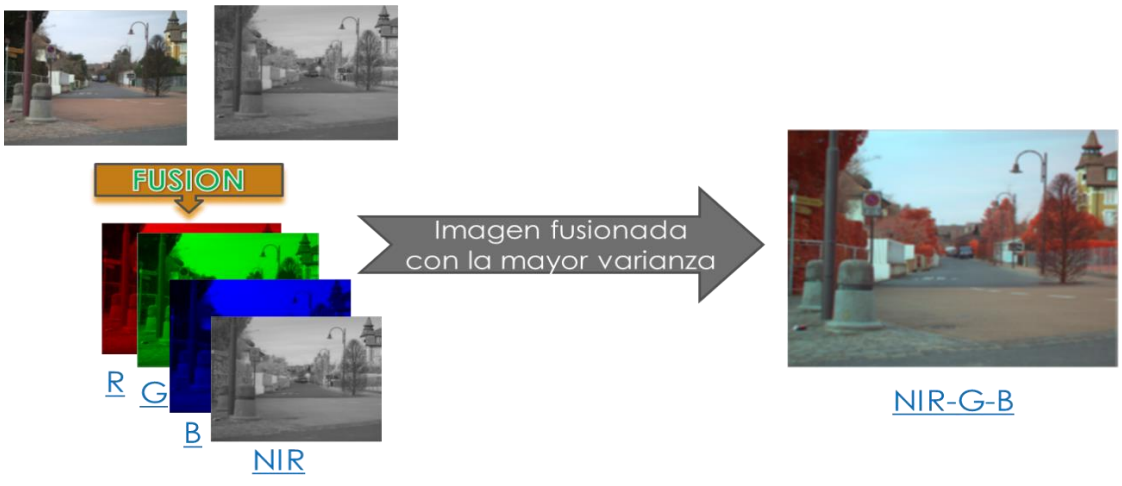


Figura 3. Imagen fusionada, canales (NIR,G-B), para de imágenes (R,G,B) (NIR) tomada de la base de datos U.P.F. Lausanna

3.4 Experimentos

Durante los experimentos se ha ejecutado el algoritmo de Canny en su versión original con las 150 imágenes seleccionadas de la categoría “Urban”, pre-procesadas y fusionadas. Luego, con el mismo conjunto de imágenes, se ha ejecutado el algoritmo con la variación propuesta en este trabajo. Es decir, la utilización de los filtros morfológicos con un diseño diferente de los elementos estructurantes y la inclusión de los gradientes oblicuos sugeridos en (Deng, Wang, & Yang, 2013), sustituyendo el filtrado Gaussiano que tiene poca adaptabilidad al ruido. Los resultados obtenidos de ambos algoritmos han sido comparados de acuerdo a las métricas tomadas de (Deng, Wang, & Yang, 2013) y que se detallan a continuación:

La información de la probabilidad de la mejora de la calidad de los bordes de la imagen, es decir, el nivel de entropía, viene dado por la siguiente definición:

$$H = -\sum_{i=0}^{L-1} P_i \cdot \log_2(P_i)$$

Donde, Pi, expresa la probabilidad de que los valores de los pixeles en una imagen en escala de grises sean iguales a i. Por ende, a mayor valor de entropía, mayor de información de los contornos de la imagen original se obtiene.

Otra métrica a utilizar es el PSNR, que son los picos de la relación señal-ruido en una imagen, la cual viene dada por:

$$PSNR = 10 \times \lg\left(\frac{255^2}{MSE}\right)$$

$$MSE = \frac{1}{M \times N}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\left\|I(i,j) - K(i,j)\right\|^2$$

Los coeficientes de correlación reflejan el grado de relevancia de las imágenes, la definición viene dada por:

$$corr(A,B) = \frac{\sum_{i,j}\left[(A(i,j)-\overline{A})\times(B(i,j)-\overline{B})\right]}{\sqrt{\sum_{i,j}[(A(i,j)-\overline{A})]^2 \times \sum_{i,j}[(B(i,j)-\overline{B})]^2}}$$

$$\overline{A} = \frac{1}{M \times N}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} A(i,j)$$

$$\overline{B} = \frac{1}{M \times N}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} B(i,j)$$

Donde, $A(i,j)$ y $B(i,j)$ son los valores en escala de grises de las dos imágenes.

$\overline{A}$ y $\overline{B}$ representan la media de los valores respectivamente. Mientras más cercano a 1 sea el coeficiente de correlación, mejor es el grado de aproximación que tiene la imagen.

4. Resultados y Discusión

Se ha realizado un análisis cuantitativo de las métricas alcanzadas para demostrar que la precisión de los bordes obtenidos con las variantes propuestas utilizando imágenes Cross-espectrales fusionadas, es superior a los resultados obtenidos con el algoritmo de la versión original. Se puede visualizar los resultados obtenidos con las imágenes en la categoría “Urban” en tres escenarios diferentes: edificios, puertas y fachadas. Ver *Figura 4*. Comparaciones con la técnica presentada en (Deng, Wang, & Yang, 2013) no son adjuntadas dado que no se pudo encontrar el código fuente de dicha técnica.

Las Tablas 1, 2 y 3 muestran la comparación de los resultados de las métricas obtenidas de la ejecución de los algoritmos, se observa que los valores obtenidos con la variante propuesta alcanzan una mejor precisión, correlación y entropía. Así también se puede observar que la adaptabilidad al ruido en las imágenes fusionadas (espectro visible con el infrarrojo cercano) ha mejorado considerando que se ha utilizado una categoría de imágenes que tienen alta variabilidad a condiciones extrínsecas.

Se analizan diferentes escenarios dentro de la categoría “Urban”: Edificios, Fachadas, Puertas, se selecciona esta categoría debido a que son las más afectadas por condiciones de variación de iluminación y texturas lo cual incide de manera directa en la variabilidad y complejidad de la detección de los contornos de las imágenes. Las tablas con los resultados, se muestran a continuación:

Tabla 1. Resultados métricas “Urban Puerstas”

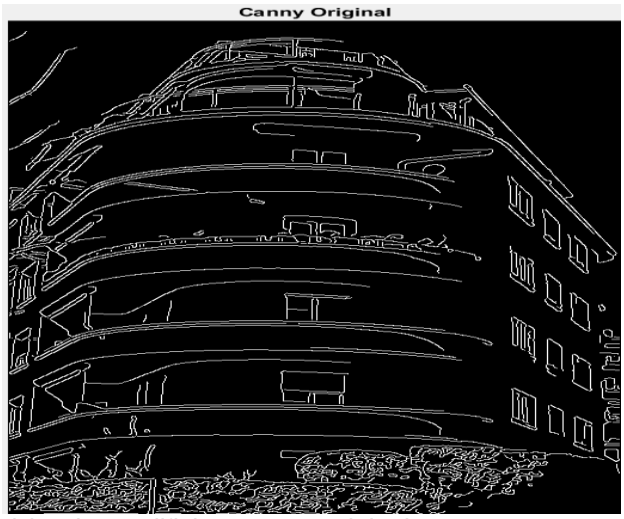
Métricas de Evaluación	**Contorno Canny Original**	**Contorno Canny Propuesto**
Entropía	0,961	0,982
PSNR	7.712	12.387
G.Correlación	0,792	0,929

Tabla 2. Resultados métricas “Urban Edificios”

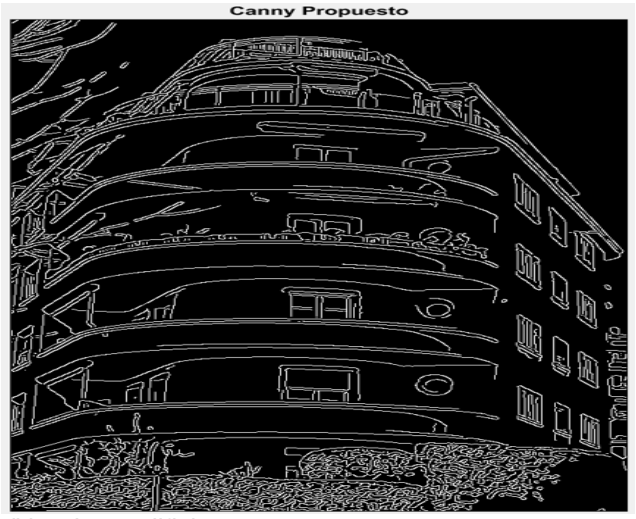
Métricas de Evaluación	**Contorno Canny Original**	**Contorno Canny Propuesto**
Entropía	0,898	0,937
PSNR	8.716	10.814
G.Correlación	0,713	0,914

Tabla 3. Resultados métricas “Urban Fachadas”

Métricas de Evaluación	Contorno Canny Original	Contorno Canny Propuesto
Entropía	0,911	0,991
PSNR	9.214	11.852
G.Correlación	0,791	0,951

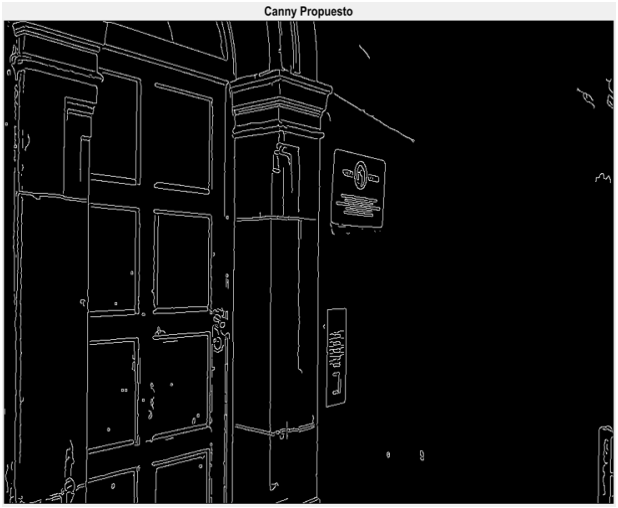


(a) Urban Edificios Canny Original

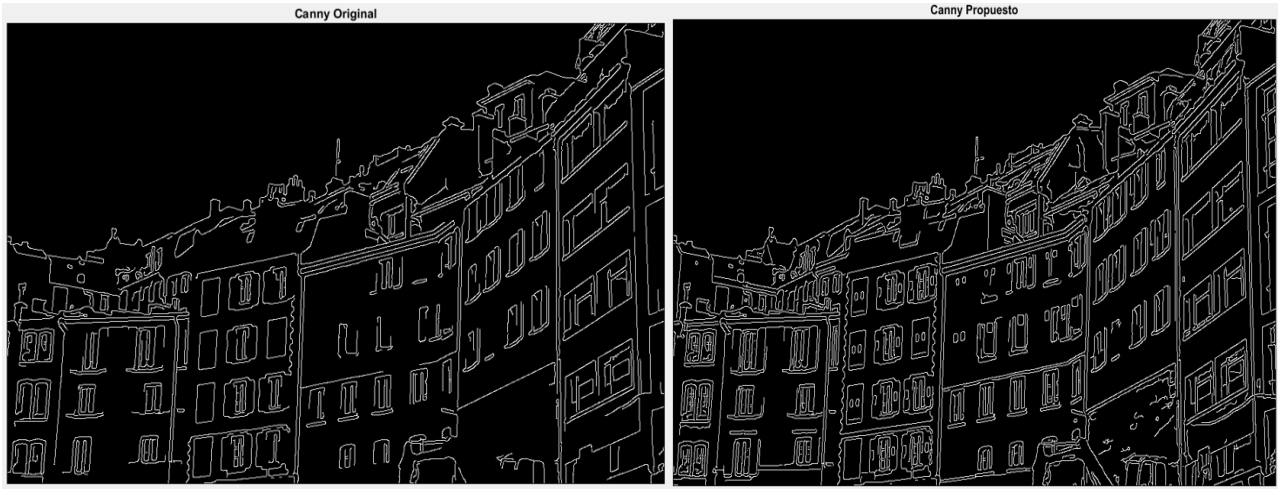


(b) Urban Edificios Canny Propuesto

(c) Urban Puertas Canny Original



(d) Urban Puertas Canny Propuesto



(e) Urban Fachadas Canny Original (d) Urban Fachadas Canny Propuesto

Figura. 4 Resultados obtenidos de la detección de bordes con el conjunto de imágenes Cross-Espectrales fusionadas, en la categoría Urban, con diferentes escenarios dentro de la categoría

5. Conclusiones y Recomendaciones

Luego de analizar los resultados obtenidos en los experimentos realizados (ver *Figura 4*), y al visualizar las métricas obtenidas (Tablas 1, 2 y 3), se puede comprobar que la inclusión de la variante del filtro morfológico propuesto en (Deng, Wang, & Yang, 2013), reduciendo el tamaño del elemento estructurante, modificando la geometría del elemento e incluyendo una operación morfológica adicional de dilatación, mejora el filtrado del nivel de ruido. Por lo cual no se produce pérdida de los detalles de la imagen, ya que con esta variante, se logra adaptar de manera más precisa la detección de contornos en imágenes cross-espectrales. Esto permite extraer con mayor detalle los contornos, reduciendo la cantidad de falsos positivos en la detección de los bordes. Las métricas utilizadas reflejan una mayor entropía en la imagen y una mejor definición en la calidad de bordes detectados.

A partir de este trabajo, se pueden analizar las mejoras de otros algoritmos de detección de contornos como son Sobel, Prewitt, Robert, ZeroCross o Log para comprobar si se puede incluir filtros morfológicos para mejorar la precisión de detección ya sea para imágenes del espectro visible, infrarrojo cercano o Cross- espectrales. Se puede adicionalmente, definir nuevas métricas que sirvan para generalizar las mediciones de la precisión de las variantes propuestas, en varias técnicas de detección de contornos. También se puede analizar la variante propuesta en otros espectros como el infrarrojo lejano, etc.

Bibliografía

Al-Nanih, R., Al-Nuaim, H., & Ormandjieva, O. (2009, July). New health information systems (HIS) quality-in-use model based on the GQM approach and HCI principles. *In International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 429-438.

Calero, C., Piattini, M., & Genero, M. (2001, July). Method for Obtaining Correct Metrics. *ICEIS (2)*, (pp. 779-784).

Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 679-698.

Demigny, D. (2002, July). On Optimal Linear Filtering for Edge Detection. *IEEE Trans. Image Processing, 11*, 728-1220.

Deng, C. X., Wang, G. B., & Yang, X. R. (2013, July). Image edge detection algorithm based on improved canny operator. *International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, pp. 168-172.

Elder, J. H., & Zucker, S. W. (1998). Local scale control for edge detection and blur estimation, 20(7), 699-716. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 20*(7), 699-716.

Esteves, J., Pastor-Collado, J., & Casanovas, J. (2002). Measuring sustained management support in ERP implementation projects: a GQM approach. *AMCIS Proceedings*, 190.

Heric, D., & Zazula, D. (2007). Combined edge detection using wavelet transform and signal registration. *Image and Vision computing, 25*(5), 652-662.

Ma, C., Gao, W., Yang, L., & Liu, Z. (2010, August). An improved Sobel algorithm based on median filter. *In Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE), 1*, V1-88-V1-92.

Marr, D., & Hildreth, E. (1980). Theory of Edge Detection,". *Proc. Royal Soc.London, vol. 207,, 207*, 187-217.

O'Callaghan, Robert, J., & Bull., D. R. (2005). Combined morphological-spectral unsupervised image segmentation. *IEEE Transactions on Image Processing, 14*(1), 49-62.

Patel, Dhiraj, K., Sagar, A., & More. (2013, January 4-6). Edge detection technique by fuzzy logic and Cellular Learning Automata using fuzzy image processing. *Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, 1-6.

Pohl, C., & Van , G. (n.d.). Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications. 823-854.

Rosenfeld, A. (1970, May). A Nonlinear Edge Detection Technique. *Proc. IEEE*, 814-816.

Van Solingen, R., Basili, V., Caldiera, G., & Rombach, H. D. (2002). Goal question metric (gqm) approach. *Encyclopedia of software engineering.*

Wang, W., & Wang, L. (2009, April). Edge Detection of the Canny Algorithm Based on Maximum between-class Posterior Probability". *Computer Applications, 29*(A), 962-1027.

Wilkinson., G. G. (2005). Results and implications of a study of fifteen years of satellite image classification experiments. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 43*(3), 433-440.

Xia, K. J., Yao, Y. F., Chang, J. Y., & Zhong, S. (2010, February). An Edge Detection Improved Algorithm Based on Morphology and Wavelet. *Computer and Automation Engineering (ICCAE), 1*(404-4).

Xu, P., Miao, Q., Shi, C., Zhang, J., & Yang, M. (2012, October). General method for edge detection based on the shear transform. *IET image processing, 6*(7), 839-853.

Xu, Q., Varadarajan, S., Chakrabarti, C., & Karam, L. J. (2014, July). A distributed canny edge detector: algorithm and FPGA implementation. *IEEE Transactions on Image Processing, 23*(7), 2944-2960.

Xu, Y., Weaver, J. B., & Healy, D. M. (1994). Wavelet Transform Domain Filters: A Spatially Selective Noise Filtration Technique. *IEEE Transactions on Image Processing, 3*(6), 747 - 758.

Zue, L. X., Li, T., & Wang, Z. C. (2010, September). Adaptive Canny edge detection algorithm. *Jisuanji Yingyong Yanjiu, 27*(9), 3588-3590.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.31 - 45
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Un enfoque para la optimización de pagos móviles para el sistema de transporte utilizando (NFC) a través de Cloud Computing

(An Approach to the Optimization of Mobile Payments for the Transport System using (NFC) through Cloud Computing)

Estevan R Gómez Torres, Nelson Herrera Herrera[1] , Magi Paul Díaz [2]

Resumen:
Cada vez el uso de dispositivos móviles para realizar pagos se ha ido incrementando. Día a día son más las organizaciones que adoptan sistemas que incluyen algún sistema de pagos móvil, por ello es necesario contar con sistemas rápidos y ágiles que permitan garantizar la seguridad y confiabilidad, tanto para el operador como para el mismo usuario, a fin de que los usuarios obtengan un servicio de calidad basado en las tecnologías móviles. En éste trabajo se realiza un análisis de la tecnología NFC tomando en cuenta una propuesta de desarrollo de un sistema de medios de pago electrónicos, aplicable al Metro de Quito, para asegurar el tiempo de respuesta y la seguridad transaccional, se adopta la solución de sistemas en la Nube.

Palabras clave: NFC, Aplicaciones Móviles, Computación en la Nube, Soluciones de Pagos en Transporte

Abstract:
The use of mobile devices has gradually increased. Every day, the number of organizations adopting systems which include some type of mobile payments is becoming bigger. Because of this reason, it is mandatory to have agile and quick systems to guarantee security and reliability, not only for the user but also for the operator. In that way, users will get a high-quality service based on mobile technologies. An analysis of NFC Technology has been made in this paper taking into consideration a proposal of a system development including mobile payments, which could be used in the transportation system of Metro of Quito. To assure the response time and transactional security, the use of cloud computing is recommended.

Keywords: NFC, Mobile applications, Cloud Computing, Transporting payment Solutions

1. Introducción

Las comunicaciones de campo cercano (NFC) muy populares por su versatilidad y aplicabilidad, surgen como alternativas para enviar y recibir datos, con la presencia de un emisor y un receptor, como características principales se tiene: está diseñada para la transmisión instantánea de pequeñas cantidades de información como es el caso y su forma de operar determina que sea de muy corto alcance, pues trabaja a 13,56 MHZ con una tasa de transferencia de información puede alcanzar los 424 Kbps y lo hace usando una tecnología inalámbrica para transmisión de datos. Es

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador ({estevan.gomez, Nelson.herrera} @ute.edu.ec)

[2] Universidad de las Fuerzas Armadas (Espe), Quito- Ecuador(mpdiaz@espe.edu.ec)

así que NFC tiene en éstos momentos mucho soporte debido a lo cual, se encuentra presente en la gran mayoría de teléfonos inteligentes y otros dispositivos móviles. Además, se puede considerar como un estándar creado para la comunicación sin cables de corto alcance para la realización de pagos a través de dispositivos móviles mayoritariamente. El resultado es un incremento sostenido de las aplicaciones que utilizan NFC, en diversos campos como: Movilidad Inteligente, Producción Inteligente, Marketing Inteligente, Control de Pagos y Accesos, Viviendas controladas y conectadas, lo cual le da un rango de cobertura y aplicación muy amplio a las tecnologías NFC (Romero, 2017), como se observa en la *Figura 1*.

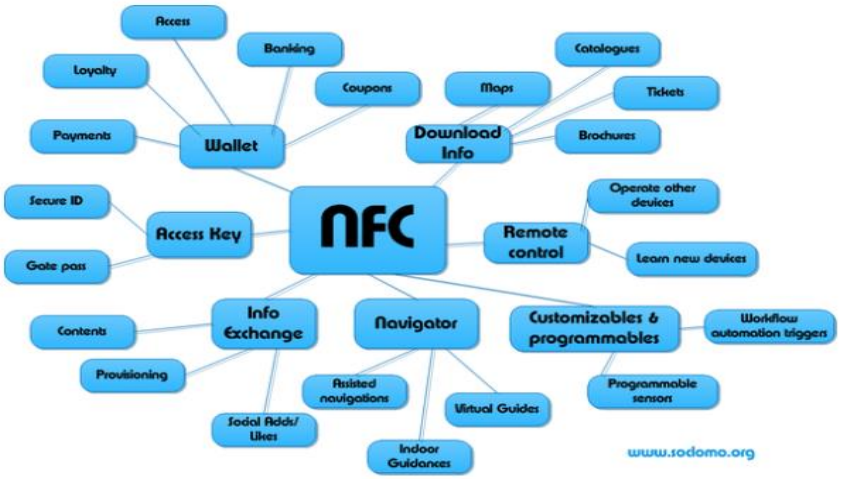


Figura 1: APLICACIONES NFC

Un cambio drástico en la forma de interactuar con los objetos, ha sido introducido por el Internet de las Cosas (IoT), es así como se han creado múltiples dispositivos que aprovechan ésta tecnología NFC y que pueden perfectamente ser utilizados en el hogar, en el trabajo y el mundo que nos rodea; como consecuencia de ello , se ha creado un sinfín de oportunidades de comodidad, confort y eficiencia para el usuario final.

Ejemplos de éste aspecto creciente en cuanto al uso de NFC es el rápido aumento del contenido electrónico y la conectividad en los automóviles, las crecientes demandas de la creación de redes de banda ancha, electrónica industrial interconectada y la medicina electrónica, hogares conectados y la proliferación de dispositivos móviles inteligentes están todos impulsando la innovación tecnológica y seguridad que obligan a desarrollar soluciones inteligentes interconectadas.

Se considera a NFC como una plataforma abierta diseñada desde el inicio para teléfonos y dispositivos móviles. Debido a sus características de funcionamiento la aplicabilidad de NFC más que para la transmisión de grandes cantidades de datos es para comunicación instantánea, es decir, identificación y validación de equipos/personas. (Nfc, 2016). Entre otras de las características sobresalientes sobresalen la velocidad de comunicación, que es casi instantánea sin necesidad de emparejamiento previo, adicionalmente, el alcance de la tecnología NFC es muy reducido, pues se

mueve como máximo en un rango de los 20 cm. A su favor también juega que su uso es transparente a los usuarios y que los equipos con tecnología NFC son capaces de enviar y recibir información al mismo tiempo. (NXP, 2016)

Casos Referenciales: La ciudad de Wuhan, en China tiene un proyecto piloto, donde se utilizarán pulseras para utilizar la tecnología NFC, así es como a estas pulseras se cargarán con una aplicación de tránsito, lo que les permitirá a los usuarios hacer uso de los autobuses y trenes metropolitanos con solo un movimiento de las manos. También incluirá un rastreador de actividad física, que les proporcionará la facilidad a los usuarios llevar un registro de sus actividades diarias, como cuántos pasos caminaron, la distancia que recorrieron y el patrón de sueño. Los usuarios pueden consultar el saldo y recargar la cuenta a través de una aplicación para teléfonos inteligentes. Wuhan es uno de los principales centros de transporte de China. Para asegurar el flujo armónico de pasajeros, el sistema de tránsito está implementando rápidamente la tecnología sin contacto. En este momento, hay más de 13 millones de tarjetas en uso. (Gelmato, Pulseras NFC, 2016)

Caso 1: Solución Optelio Contactless MiniTag: Es una nueva forma de pagar sin usar una tarjeta de plástico. La versátil solución presentada por ésta empresa, permite mejorar y ampliar su oferta sin contacto, ya que apunta a nuevos segmentos de clientes, tales como los jóvenes y los aficionados al deporte, así como a capitalizar las oportunidades de negocio en sectores emergentes, entre ellos, los estadios y los eventos corporativos. Está desarrollado para cualquier circunstancia: La simplicidad, la seguridad y la flexibilidad están en el corazón de Optelio Contactless MiniTag. Esta solución compatible con el estándar EMV se puede usar para lo siguiente: Pagos (MasterCard y Visa), Control de acceso, Transporte público, Redes sociales. (NXP, 2016)

Caso 2: Adicionalmente, existe un prototipo en Madrid que se inició en Febrero del 2015, para lo cual, el Consorcio Regional de Transportes ha firmado un convenio no sólo con la Empresa Municipal de Transportes (EMT), sino también con Telefónica, Gemalto SP y Samsung. Los móviles que se utilizan en la prueba piloto son de dicha marca y del modelo S4, según han informado fuentes oficiales. Por eso, a través del móvil o de la Tablet, el usuario puede moverse por dentro de los intercambiadores y proyectar su viaje con más facilidad. Además, se han desarrollado aplicaciones para que cada usuario, con un Smartphone una Tablet pueda consultar toda la información referente a su tarjeta de transporte público.

Descripción de la solución en Madrid:

Considerando la complejidad tecnológica del proyecto, ha sido necesario contar con diversos actores (fabricante de teléfonos, operador de comunicaciones, medio de pago o entidad bancaria, fabricante de tarjeta SIM, integrador de tecnología, etc.). Como consecuencia, la solución técnica adoptada en el proyecto ha sido posible gracias a la participación de las siguientes empresas, cada una de las cuales ha jugado un papel fundamental y necesario en el mismo:

- Consorcio Regional de Transportes Madrid (CRTM): autoridad de transporte que concentra las competencias en materia de transporte regular de viajeros en la Comunidad de Madrid. Es el propietario del sistema TTP, Tarjeta de Transporte Público sin contacto, definido para el transporte en Madrid.
- Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT): sociedad anónima, propiedad del Ayuntamiento de Madrid, encargada de la prestación del servicio de transporte público urbano colectivo de superficie mediante autobús en la ciudad de Madrid. La EMT ha realizado los desarrollos técnicos del BackOffice necesarios en la generación de los comandos DESFire, que permiten la personalización y recarga de los títulos de transporte de forma remota a través del Trusted Service Manager (TSM).
- Gemalto: compañía privada de seguridad digital, responsable de proveer la infraestructura del Trusted Service Manager (TSM) necesaria para la escritura remota en las SIMs de los usuarios de los títulos de transporte y de la ejecución de los comandos generados por la EMT. Asimismo, las SIMs NFC compatibles con el servicio han sido fabricadas por Gemalto.
- Telefónica: multinacional española de telecomunicaciones que ha proporcionado la red móvil y los servicios móviles imprescindibles para la prestación final del servicio en las SIMs de los usuarios.
- Samsung: fabricante multinacional de dispositivos electrónicos que ha proporcionado los desarrollos software imprescindibles para la generación de la aplicación que sirve a los usuarios para la gestión de los títulos de transporte instalados en la SIM, así como los terminales móviles NFC. A su vez, sirve de interfaz para la recarga de dichos títulos.
- BBVA: entidad bancaria que ha proporcionado la pasarela de pagos online a través de la cual se realiza la compra y recarga de los títulos de transporte.

El flujo normal (simplificado) de una compra por parte de un usuario sería según se describe a continuación:

1. Una vez el usuario dispone de una tarjeta SIM personalizada y a través de la aplicación móvil desarrollada al efecto, el usuario inicia la recarga del título. Para ello se consulta al BackOffice los títulos y precios disponibles.
2. Una vez seleccionado el título a recargar, el usuario inicia la compra a través de la pasarela de pagos.
3. Si la compra ha tenido éxito, se notifica dicho éxito al BackOffice, quien generará los comandos necesarios para dicha recarga. Todo ello se envía a la SIM, de forma segura, a través del TSM.
4. El TSM, a través de la red móvil, hace llegar el título de transporte a la SIM, donde se almacena de forma segura.

Aplicación de gestión

Se ha desarrollado una aplicación Android para el dispositivo NFC que provea de la funcionalidad necesaria para la gestión de los títulos de transporte. Para su utilización, la aplicación permitirá un doble uso:

1. Interacción con el usuario: la aplicación provee de acciones específicas que el usuario podrá realizar para obtener información y ejecutar operaciones sobre su título de transportes. En concreto, se podrá consultar el saldo de viajes disponible y solicitar una carga.
2. Durante el proceso de validación en un medio de acceso de transporte, la aplicación detectará el cambio de saldo y devolverá una información de la validación producida y el saldo resultante.

La aplicación Android desarrollada es el complemento perfecto para mejorar la usabilidad del título de transporte buscando la sencillez y la reducción de los menús al máximo. Esto a su vez mejora la experiencia del usuario. De esta manera, al iniciar la aplicación y de una forma automática, el usuario puede observar el saldo pendiente de viajes. Por último, en caso de querer recargar el título de viaje, podrá hacerlo pulsando sobre el "carro de la compra" disponible en la pantalla principal. Este icono proporciona acceso al entorno de la pasarela de pagos, donde poder realizar la compra del título contra una tarjeta de crédito. (Facility, 2016).

Principios de Funcionamiento: Se trata de un sistema de transmisión de datos similar al bluetooth y que utiliza los principios de la tecnología RFID (identificador por radiofrecuencia). Además, ofrece prestaciones mucho más amplias que la RFID porque aprovecha el extendido uso de los teléfonos móviles y sus capacidades de cómputo. En la *Figura 2* podemos observar el funcionamiento y una variedad de aplicaciones sobre NFC.

ESPECIFICACIÓN DE LA ARQUITECTURA NFC

A través de la utilización de los elementos clave en las normas existentes y reconocidas como ISO / IEC 18092 e ISO / IEC 14443-2,3,4, así como JIS X6319-4, las especificaciones NFC Forum establecen un estándar tecnológico que armoniza las normas y se extiende sin contacto existentes el desbloqueo de todas las capacidades de la tecnología NFC en los diferentes modos de funcionamiento sin contacto, el modo de igual a igual, lector / escritor modo, el modo de emulación de la tarjeta. (Forum, 2017)

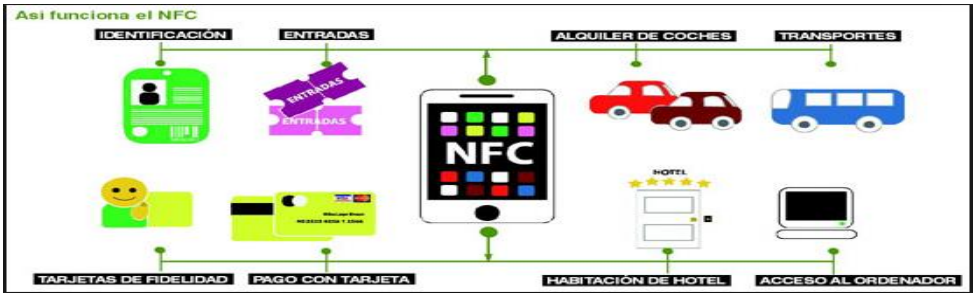


Figura 2. Aplicaciones de NFC (Evolucion, 2016)

"Se considera a NFC además como un enlace crítico al Internet de las cosas: Los usuarios que acceden a Internet de forma inalámbrica a través de dispositivos móviles pronto serán la mayoría. Entre las diversas opciones de apareamiento móvil, sólo NFC está específicamente diseñado y desarrollado para maximizar la privacidad a la vez que tiene una configuración de poder cero, y realizando ambos de una manera muy rentable" (XatakaAndroid, 2016)

A continuación la *Figura 3* en la cual se detalla la Arquitectura NFC.

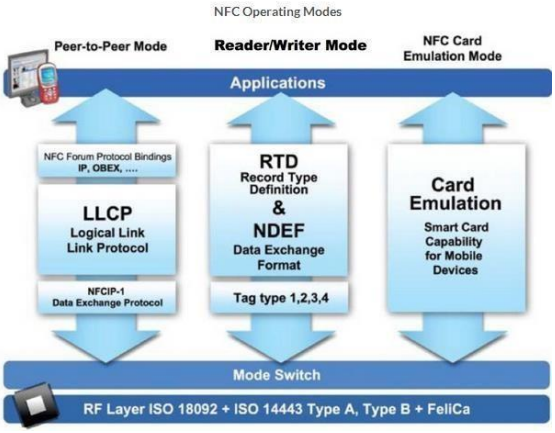


Figura 3. Estructura de NFC (DigiKey, 2016)

Entre las características que se destacan están:

A. Privacidad: NFC por diseño tiene un limitado campo de operación, lo que impide la escucha de datos que podría ocurrir desde una distancia mayor. También requiere controlar la intención de la aplicación de un dispositivo habilitado con NFC a un objeto dotado de la tecnología NFC para leer su memoria. Este enfoque está en contraste con los protocolos tales como Wi-Fi, que requieren radios para transmitir información sin importar la intención.

B. Configuración de poder cero: Al establecer comunicación entre un lector NFC y un transpondedor NFC (etiqueta), la energía obtenida a partir del campo de RF de la energía acumulada en el lector de la etiqueta, proporciona conectividad a los dispositivos de Internet de las Cosas (IOT) sin necesidad de utilizar baterías o corriente lo cual permite una configuración con ausencia de éstos elementos. Esta característica de recolección de energía permite un número de aplicaciones de baja potencia y de bajo costo.

C. Soluciones rentables: La adición de una etiqueta NFC conectada a un sistema embebido puede establecer la conectividad a dispositivos móviles a un costo mucho más bajo que los enfoques Bluetooth o WiFi. Además, eliminando la necesidad de una batería en un sistema embebido el requerimiento de materiales usado es menor y consecuentemente su costo baja.

D. NFC y el transporte: El valor de uso de tarjetas inteligentes sin contacto en los sistemas de tarifas de transporte masivo ofrece comodidad al pasajero y al operador tales como: la velocidad de embarque, tiempos de espera reducidos, más información de gestión, nuevas opciones para los programas de los empleadores locales y una mayor flexibilidad de la política de tarifas. Como resultado, las agencias de transporte de todo el mundo han puesto en marcha los sistemas de pago de tarifas de tarjetas inteligentes sin contacto, de valor almacenado normalmente o de paso almacenado Implementaciones en las que la tarjeta posee un producto de tarifa o valor en efectivo que se actualiza con cada uso de la tarjeta. Con el advenimiento de los sistemas de pago sin contacto abiertos de las marcas de pago y los emisores de tarjetas bancarias, las agencias de transporte ven una oportunidad para mejorar el servicio al cliente y la eficiencia operativa mediante la reducción del papel como emisor de medios de pago y adquirente de transacciones Por lo tanto es conveniente el análisis de las oportunidades y los retos de la utilización de crédito sin contacto emitida por el banco, tarjetas de débito y tarjetas de prepago para el pago de tarifas de tránsito y de cómo las dos industrias pueden vincular los productos y servicios de pago. (Alliance, 2016)

En los últimos años, se ha introducido el pago sin contacto, por lo cual la industria de tarjetas bancarias ha generado programas que hacen las tarjetas tradicionales más atractivas para las transacciones de bajo valor. Reconociendo que las transacciones por debajo de $ 25 se llevan a cabo en entornos que requieren transacciones más rápidas, las marcas de pago han adoptado programas que faciliten las transacciones mediante la eliminación de los requisitos de procesamiento que requieren mucho tiempo, como las firmas y recibos. Las transacciones sin contacto no requieren conexión física entre el dispositivo del consumidor el pago (normalmente una tarjeta) y el terminal del comerciante de punto de venta (POS). El pago sin contacto es simplemente una forma diferente de presentar una tarjeta con el sistema POS, para el consumidor, hay poca diferencia entre la funcionalidad de una tarjeta de crédito sin contacto y una tarjeta estándar del banco de banda magnética. La transacción también incluye un contacto, criptograma dinámico único, que identifica cada operación exclusivamente para evitar transacciones fraudulentas.

2. Metodología

Se realiza una investigación exploratoria para lo cual, se toma como base un Caso de Estudio acerca del Metro de Quito para posteriormente realizar una propuesta para la solución de pagos. Veamos el caso del Metro de Quito: su propósito es integrar el Sur y el Norte de la Ciudad, entre Quitumbe y El Labrador en apenas 34 minutos, con 8 trenes de seis vagones cada uno que transportarán hasta 400 mil personas en un día. En su trayecto, tendrá 15 estaciones de cómoda

accesibilidad para personas de capacidades reducidas. Desde la interpretación cartográfica y geológica hasta el monitoreo sísmico y neotectónico, pasando por lo arqueológico y patrimonial, conforman la estructura de los once estudios de soporte sobre los que Metro de Madrid, realizó el diseño e ingeniería definitivos de la Primera Línea del Metro de Quito, partiendo de las características únicas de una ciudad Patrimonio de la Humanidad, con fuentes de agua subterránea, quebradas, rellenos y suelos de tipología diversa, que determinaron la necesidad de investigar, conocer e interpretar con mayor precisión las características propias de Quito, a través de estudios técnicos y científicos que se iniciaron con la interpretación cartográfica de la Ciudad

A. Requerimientos NFC para transporte:

Los Sistemas de tránsito de la AMT (Agencia Metropolitana de tránsito) manejan una serie de funciones, incluyendo la emisión de la tarjeta de pago, la aplicación de normas específicas de la agencia para determinar la tarifa que se cobra cuando se utiliza la tarjeta de pago, y procesar el pago. Para cumplir estas funciones, los sistemas de tránsito de la AMT deben cumplir estos requisitos cruciales.

Figura 4: Proyecto Metro Quito[3]

B. Arquitectura de Control y Registro:

Un enfoque de tarjetas bancarias sin contacto abierto para el pago de la tarifa de tránsito utiliza una arquitectura basada en cuentas, en lugar de la arquitectura basada en una tarjeta tradicional. En un sistema que utiliza una arquitectura basada en cuentas, el terminal lee la información almacenada en una tarjeta inteligente sin contacto y lo envía de vuelta a un back office través de una red de comunicaciones. El sistema de back office (o host) mantiene la lógica del sistema y determina si la tarjeta es válida y devuelve una señal que permite al terminal abrir la puerta o señalar al piloto y al operador de autobuses si se debe permitir el paso.

El terminal puede realizar funciones de seguridad, y también puede comprobar una lista negativa o positiva para determinar validez de la tarjeta antes de enviar los datos de pago para el huésped.

3 http://cidoc.es/blog/proyecto-ejecucion-de-la-primera-linea-del-metro-de-quito-fase-2/

El sistema de back office utiliza los datos enviados por el terminal para aplicar las reglas de negocio relevantes y determinar un precio para la transacción utilizando la política de tarifas / reglas de la agencia. Los tipos de transacciones y formas de pago pueden variar con esta arquitectura basada en reglas de negocio de la agencia de tránsito y de los tipos de tecnologías que se utilizan.

3. Discusión:

En ésta sección, se realiza un análisis de las mejores alternativas a fin de encontrar una solución adecuada para los medios de pago electrónicos. Se ha realizado una verificación de varias propuestas, ya que existe un gran crecimiento en la utilización de NFC y las aplicaciones de la industria móvil, se han encontrado algunas opciones. Como fase complementaria se hace el análisis de Cnx Soft – Embeded Development (Soft, 2016), una empresa que trabaja en el campo de móviles con mucho éxito y diversas implementaciones y que es la que más se ajusta dentro del perfil requerido. Se encuentra que el sistema básicamente deberá constar de tres módulos: módulo de Creación de Tickets, Modulo de Validación de Tickets y Modulo de Venta de Tickets, mas no se especifica plataforma alguna para implementarlo. a)El Modulo de Creación de Tickets: Se asume que está destinado a establecer el ingreso inicial y registro de usuario, así como activar los mecanismos de disparo de la aplicación, como tarjetas NFC, creación de usuarios y contraseñas. b) El Modulo de Validación de Tickets: Se asume que está destinado a validar los usuarios; así como el saldo a vigencia tarjetas NFC. c) El Modulo de Venta de Tickets: Se asume que está destinado a conectar el procesamiento transaccional de pago de los usuarios; así como activación o negación de servicio. Es pertinente además mencionar que, aunque la tecnología NFC ha tenido una gran difusión en los últimos años, con la llegada de los dispositivos iPhone 6, iPhone 6 Plus y Apple Watch por fin tenemos un chip NFC con el que los usuarios podrán hacer transacciones sin contacto gracias a Apple Pay. Sin embargo, esta funcionalidad no podrá utilizarse con terceras aplicaciones, ni con otro hardware. Apple no va a poner a disposición de los desarrolladores el chip NFC que tienen los nuevos dispositivos, al menos, durante el primer año, deberemos entonces esperar que para las nuevas versiones existan acuerdos para lograr alternativas en éste sentido.

La *Figura 5* muestra la propuesta inicial, que posteriormente será considerada para desarrollar una nueva alternativa en el sistema de pagos utilizando NFC,

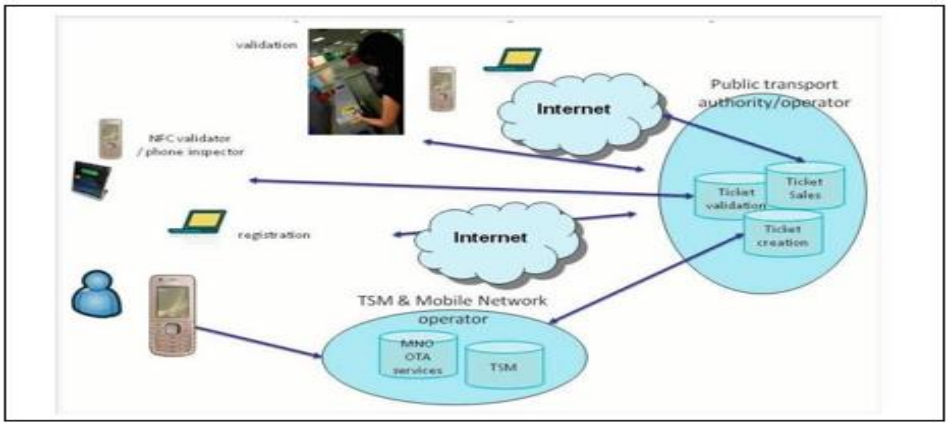


Figura 5: Propuesta Inicial[4]

A. Ventajas de la propuesta

i) Un socio de confianza para el despliegue de servicios NFC y aprovisionamiento seguro de administración de credenciales lo cual se refiere a Gestión de Servicios de confianza, de acuerdo a (Gelmato, Gelmato, 2016). “Gestión de Servicios de confianza es una parte neutral que actúa como un agregador de servicio y orquestador en el despliegue de los servicios móviles, para vincular los proyectos entre los emisores (por ejemplo, los operadores de redes móviles, bancos, OTT) , los proveedores de servicios (al por menor , las líneas aéreas , los programas de promoción / fidelización, transporte) y terceros técnicos (proveedores de cartera , sistemas de venta de entradas ,etc.)”

ii) Se encuentra que el sistema en su globalidad estará operado por una empresa de transportes quien será la encargada de la administración del sistema.

iii) No se describen en detalle los elementos a ser utilizados.

iv) Incluye OTA (Over-The-Air) es una tecnología utilizada para comunicarse, descargar aplicaciones y gestionar una tarjeta SIM sin estar conectado físicamente a la tarjeta

B. Desventajas de la propuesta:

i) La arquitectura de hardware y software para aplicaciones de transporte requiere de un sistema de validación del usuario, bien sea que el usuario se conecte al sistema a través de la red cableada o inalámbrica, o directamente a un terminal del operador del sistema de transportes.

Se encuentra que en los puntos de acceso y registro debería existir un nivel de seguridad en redes como la inalámbrica, así como en la intranet de la empresa.

[4] http://www.cnx-software.com/2011/01/31/near-field-communication-nfc-inpublic-transport/

ii) Si bien NFC tiende a convertirse paulatinamente en un estándar, hay proveedores y fabricantes como Apple, que se enfocan en el desarrollo de sus propias aplicaciones como Passbook (AppleSsfera, 2016)

3. Resultados

Luego de realizar el análisis de la propuesta inicial; se ha determinado que tiene varias desventajas como son la seguridad transaccional, que es un aspecto crítico, tratándose de pagos en línea, adicionalmente no existe una normalización de los procedimientos para que el usuario utilice la plataforma, por lo cual pueden existir errores al ser éste un sistema basado en cloud, es decir el punto importante es que se debe configurar un sistema que permita un nivel de escalabilidad y flexibilidad de crecimiento, además seguro con un control total de la transaccionalidad. Es importante además que se defina adecuadamente y detalladamente el requerimiento de usuario para poder crear un software que brinde las facilidades necesarias de operación al usuario.

3.1. DESARROLLO DE UNA NUEVA PROPUESTA:

Con el propósito de confrontar las desventajas iniciales de la propuesta , se desarrolla una nueva propuesta por lo cual se sugiere una nueva opción que pretende cubrir algunos aspectos como:1) Brindar seguridad al usuario a través el protocolo SSL, para encapsular las transacciones mediante;2) Normalizar los procedimientos de conexión del usuario, al dispositivo NFC y desde éste a la nube y viceversa;3) Establecer el requerimiento de software para el usuario, así como una o varias aplicaciones de escritorio que interactúan con él y con el proveedor de servicios. 4) Buscar un sistema en el Cloud que permita escalabilidad y seguridad y cuyo costo de servicios como SaaS, PaaS e IaaS sean escalables y versátiles en su forma de gestión.

3.1.1 Resultados de la Nueva propuesta:

En base al análisis realizado y una vez detectada las virtudes y falencias de la propuesta analizada, se propone una nueva alternativa que pretende cubrir algunos aspectos como:1) Dotar de seguridad al usuario a través de encapsular las transacciones mediante el protocolo SSL; 2) Establecer claridad en los procedimientos de conexión del usuario, al dispositivo de conexión NFC y desde éste a la nube y viceversa; 3) Definir claramente la necesidad de desarrollo de la aplicación para el usuario, así como una o varias aplicaciones de escritorio que interactúan con el usuario y con el proveedor de servicios. A continuación, se puede observar en la *Figura 6*, el esquema de la nueva propuesta.

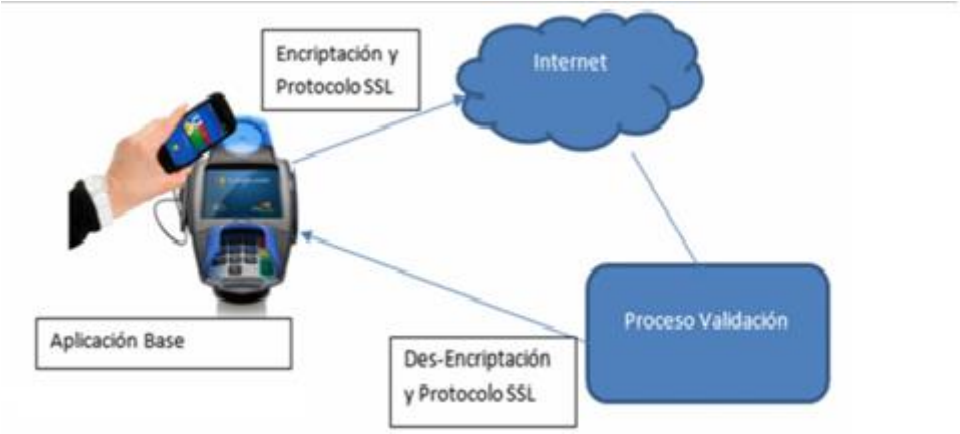


Figura 6. Descripción de la nueva propuesta

3.1.2 Consideraciones en el Desarrollo de Aplicaciones

A fin de lograr un alto nivel de seguridades se propone utilizar el protocolo de seguridad SSL.

• Características de SSL: SSL es un protocolo estratificado, por lo que en cada capa se le agregan a los mensajes campos con distintos tipos de contenido, como el largo de los mismos, algún tipo de descripción y la información propiamente dicha

• Framework de Desarrollo: Para el desarrollo de las aplicaciones se propone Eclipse a fin de garantizar compatibilidad con varios dispositivos vigentes en el mercado

• Aplicaciones a Desarrollarse: El teléfono deberá tener una aplicación, la misma que al acercar al lector de NFC disparará la aplicación de verificación y permitirá el acceso o no del usuario, entonces se enviara la información almacenada en la etiqueta del teléfono.

• Aplicación Móvil: Adicionalmente se debe considerar que se requiere el desarrollo de aplicaciones para poder recibir y enviar información, así como de una aplicación web para poder realizar la compra de recargas de tiempo, tickets, etc.

• Aplicación de Escritorio: Se requiere de una aplicación de escritorio para poder autorizar transacciones, recibir y enviar información, así como de una aplicación web para poder realizar la compra de recargas de tiempo, tickets, etc. El desempeño de los sistemas se basa en tres pasos: 1) El sistema es una combinación de la plataforma de comunicación basada en la nube y el entorno de ejecución de aplicaciones 2) La aplicación y transmisión de datos se realiza de forma automática desde la nube 3) Las solicitudes se activan y pueden correr en el dispositivo (PC, portátil o Smartphone) y se eliminan cuando no se requieren más. La tecnología NFC permite a los dispositivos conectarse entre sí, tanto los datos y las aplicaciones requeridas pueden ser transferidos de un dispositivo a otro.

3.1.3 Descripción de la aplicación:

A continuación se muestra la descripción del proceso de ejecución de la transacción:

1) El terminal POS para hacer un pago, 2) La aplicación de pago se descarga desde la nube en el teléfono móvil de almacenamiento temporal seguro del cliente, 3)Terminal de punto de venta se comunica con el proveedor de la nube para comprobar si el cliente tiene suficiente crédito, 4) Proveedor de nube transfiere la información requerida para POS, 5) Sobre la base de la información que se envió al comerciante, terminal punto de venta o bien autoriza o rechaza la solicitud del cliente de transacción, 6) POS: Se comunica con la nube para actualizar la cuenta del cliente - si la petición del cliente está autorizada, el importe de la compra es retirado de la cuenta del cliente, de lo contrario no habría la modificación a su cuenta.

4. Conclusiones

• Lo importante en el uso de tecnologías NFC es facilitar al usuario el acceso a transacciones mediante el aprovechamiento de las potencialidades que la nueva tecnología ofrece y el mercado lo demanda.

• La tecnología NFC ofrece ventajas frente a los códigos QR en los casos en que se desea aprovechar el elemento de la proximidad o se requiere ejecutar una instrucción para agilizar un proceso.

• Gracias a los dispositivos móviles y la conexión a internet cada vez tenemos más medios a nuestro alcance para facilitar a los usuarios el acceso a la información. Es el momento de encontrar la forma de explotar esos medios y buscar soluciones óptimas, al menor coste posible, que realmente funcionen y sean útiles y eficaces para nuestros usuarios.

• El popular uso de la tecnología NFC está en crecimiento lo que hace avizorar que los medios de pago y el IoT, se beneficiarán de un sistema muy innovador y práctico, beneficiando a los proveedores de redes móviles, a los proveedores de servicios, y a los usuarios.

• Otra de las alternativas es utilizar Información Basada en Localización “LBS” (Location Based Systems), que ayudaría al usuario a ubicarse fácilmente entre paradas a fin de evitar demoras en las transferencias entre líneas, muy útil para personas de la tercera edad y con discapacidad visual.

• Deberemos esperar además que se den acuerdos adicionales entre Apple y los fabricantes y proveedores de NFC para lograr beneficios para los usuarios de IPhone.

Bibliografía

Al, D. e. (2011). Big Data and Cloud Computing: Current State and Future Opportunities. *roceedings of the 14th International Conference on Extending Database Technology* (págs. 530-533). New York, NY, USA: EDBT/ICDT '11. doi:10.1145/1951365.1951432

Alliance, S. (08 de 20 de 2016). *SMART CARD ALLIANCE*. Recuperado el 08 de 20 de 2016, de SMART CARD: http://www.smartcardalliance.org/.

AppleSsfera. (12 de 10 de 2016). *AppleSsfera*. Recuperado el 12 de 10 de 2016, de https://www.applesfera.com/aplicaciones-ios-1/passbook-una-aplicacion-que-puede-ofrecer-mucho-en-un-futuro-cercano

Cidoc. (30 de 10 de 2016). *Cidoc*. Recuperado el 01 de 10 de 2016, de http://cidoc.es/blog/proyecto-ejecucion-de-la-primera-linea-del-metro-de-quito-fase-2/

DigiKey. (01 de 11 de 2016). *DigiKey*. Obtenido de http://www.digikey.be/en/articles/techzone/2013/feb/lower-cost-integrated-solutions-enable-new-nfc-wireless-apps

Evolucion. (10 de 11 de 2016). *Evolucion*. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de evolucion: http://www.e-volucion.es/2012/06/tecnologia-nfc-entra-lleno-nuestro-movil

Facility. (26 de 11 de 2016). *Facility Management and Services*. Recuperado el 26 de 11 de 2016, de Facility Management and Services: http://www.facilitymanagementservices.es/tendencias/smart-cities/sistema-de-acceso-nfc-para-el-transporte-publico-de-madrid

Forum, N. (01 de 01 de 2017). *NFC Forum*. Obtenido de http://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/

Gelmato. (01 de 12 de 2016). *Gelmato*. Obtenido de http://www.gemalto.com/latam/servicios-financieros/mfs/tsm

Gelmato. (2 de 6 de 2016). *Pulseras NFC*. (http://www.gemalto.com/press/Pages/Las-pulseras-NFC-de-Gemalto-agilizan-el-transporte-en-China.aspx) Recuperado el 08 de 08 de 2016, de

Brochure NFC: http://www.gemalto.com/brochures-site/download-site/Documents/fs-contactless-payment-esp.pdf

Nfc, S. (25 de 12 de 2016). *Shop Nfc*. Recuperado el 28 de 12 de 2016, de Shop Nfc: http://www.shopnfc.it/es/content/6-caracteristicas-tecnicas-de-etiquetas-nfc

NXP. (25 de 12 de 2016). *nfc-forum*. (NXP) Recuperado el 28 de 12 de 2016, de SlideShare: http://www.slideshare.net/NFC-Forum/nfc-everywhere

Shannon, C. (s.f.).

Soft, C. (10 de 08 de 2016). *CNX-SOFT*. Obtenido de http://www.cnx-software.com/2010/12/28/near-field-communication-nfc/

University, B. D. (15 de 10 de 2016). *Big Data University*. Obtenido de Big Dta University Course: https://courses.bigdatauniversity.com/courses/course-v1:BigDataUniversity+BD0101EN+2016/courseware/407a9f86565c44189740699636b4fb85/5954a0d4016a4346b83ff34bd5edef84/

XatakaAndroid. (01 de 08 de 2016). *XatakaAndroid*. Obtenido de https://www.xatakandroid.com/aplicaciones-android/momo-pocket-el-pago-con-el-movil-nunca-fue-tan-sencillo

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.46 - 61
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363

Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Análisis de la accesibilidad de los sitios web de las universidades ecuatorianas de excelencia

(Analysis of the accessibility in websites of Ecuadorian universities of excellence)

Tania Acosta[1], Sergio Luján-Mora[2]

Resumen:
Desde la publicación de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN ISO/IEC 40500 en el año 2014, y el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido Web” en año 2016, la accesibilidad web en el Ecuador ha tomado gran importancia. En el ámbito educativo, los sitios web de las Instituciones de Educación Superior (IES) se han convertido en un canal de comunicación, donde las universidades publican la información y los servicios que ofrecen. Adicionalmente, las IES deben satisfacer el derecho de todos los ciudadanos a tener acceso a la educación, lo cual incluye a las personas con discapacidad. Por lo tanto, para garantizar el acceso a los sitios web de las IES a todas las personas, es importante que las IES incorporen la accesibilidad web como un requisito esencial en sus sitios web. El objetivo de esta investigación es realizar el análisis de la accesibilidad de los sitios web de las universidades ecuatorianas de excelencia pertenecientes a las categorías A, B y C; identificar los errores de accesibilidad de los sitios web y presentar algunas recomendaciones para un mejor cumplimiento de las directrices de accesibilidad WCAG 2.0, por parte de los diseñadores y desarrolladores de sitios web.

Palabras clave: Accesibilidad web; discapacidad; WCAG 2.0; Instituciones de Educación Superior; W3C.

Abstract:
Since the publication of the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN ISO / IEC 40500 in 2014 and the Ecuadorian Technical Regulation RTE INEN 288 "The web contents accessibility" in 2016, web accessibility in Ecuador has taken great importance. In the educational field, the websites of Higher Education Institutions (HEI) have become a communication channel, where universities publish the information and services they offer. In addition, HEI must satisfy the rights of all citizens to have access to education, which includes persons with disabilities. In order to ensure access to the websites of HEI to all people it is important that HEI incorporate web accessibility as an essential requirement in their websites. The objective of this research is to perform the accessibility analysis of the websites of the Ecuadorian universities of excellence belonging to categories A, B and C; identify websites accessibility errors and to present some recommendations for a better fulfillment of the WCAG 2.0 accessibility guidelines by website designers and developers.

Keywords: Web Accessibility; disability; WCAG 2.0; Higher Education Institutions; W3C.

[1] Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador (tania.acosta@epn.edu.ec)
[2] Universidad de Alicante, Alicante – España (sergio.lujan@ua.es)

1. Introducción

El acceso a la información y los servicios que ofrecen las instituciones públicas y privadas alrededor del mundo ha cambiado significativamente, desde la creación de la *World Wide Web* (WWW)(World Wide Web Consortium, 2016). En el ámbito educativo, las Instituciones de Educación Superior (IES) publican en sus sitios web la información y los servicios más relevantes que brindan.

En un sitio web, la página principal constituye la primera página a la que se accede y en la cual se centran los usuarios. La página principal se ha convertido en la carta de presentación de cualquier institución (Ismailova & Kimsanova, 2016). Dependiendo de la facilidad para acceder a la información de la página web principal, generalmente los usuarios toman la decisión de continuar o no navegando por dichos sitios web (Acosta-Vargas, Luján-Mora, & Salvador-Ullauri, 2016). En el caso de las IES, la página web correspondiente a la oferta académica por la información que provee, también constituye una página con un número significativo de accesos.

Hoy en día la educación, así como el acceso a los sistemas y tecnologías de información y las comunicaciones por parte de las personas con discapacidad constituyen un derecho, derecho consagrado en la convención de la ONU, con el fin de eliminar la discriminación de la cual son objeto las personas en razón de su discapacidad (Organización de Naciones Unidas, 2006). Por lo tanto, para permitir el acceso a la Web a todas las personas, es importante implementar características de accesibilidad en los sitios web.

Actualmente, el Ecuador cuenta con 47 universidades de excelencia (26 particulares y 21 públicas) acreditadas en categorías: A (8 universidades), B (25 universidades) y C (14 universidades), de las cuales 3 son universidades de posgrado. El proceso de acreditación fue llevado a cabo por el Consejo de Evaluación Acreditación y Aseguramiento de la Calidad (CEAACES) (2015).

1.1. Accesibilidad web

Las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web 2.0 *(Web Content Accessibility Guidelines 2.0,* WCAG 2.0) fueron publicadas en el año 2008 y constituyen un estándar a nivel mundial que establecen las pautas de un diseño accesible. Las WCAG 2.0 permiten que el contenido de los sitios web sea más accesible para un mayor número de personas con discapacidad. Discapacidades que incluyen ceguera o visión deficiente, sordera y pérdida de audición, deficiencias de aprendizaje, limitaciones cognitivas, movilidad reducida, deficiencias del lenguaje, fotosensibilidad y las combinaciones de todas estas. Las WCAG 2.0 están organizada en 4 principios (perceptible, operable, comprensible y robusto), 12 directrices, 61 criterios de cumplimiento, 3 niveles de conformidad (A, AA y AAA), así como también técnicas

suficientes y recomendables para desarrollar y evaluar los contenidos web (World Wide Web Consortium, 2008).

La accesibilidad web tiene como objetivo lograr que las páginas web sean utilizables por el máximo número de personas, independientemente de sus conocimientos, capacidades personales y características técnicas del equipo utilizado para acceder a la Web (Luján Mora, 2012), venciendo las barreras que excluyen a las personas de edad avanzada y con discapacidad de usar la web (Luján-Mora, 2013).

1.2 Legislación de Ecuador

El marco legal vigente en el Ecuador para diseñar e implementar sitios web accesibles, que garantiza el acceso a la comunicación e información de todas las personas con y sin discapacidad se basa en:

- La Norma ecuatoriana NTE INEN-ISO/IEC 40500 “Tecnología de la información - Directrices de accesibilidad para el contenido web del W3C (WCAG) 2.0 (ISO/IEC 40500:2012, IDT)” (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014).
- El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido web” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2016), el cual regula la aplicación de la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500.

La norma NTE INEN-ISO/IEC 40500 fue publicada en enero de 2014 y define las características que debe tener un sitio web para que sea accesible (niveles de orientación, principios, pautas, criterios de conformidad, técnicas suficientes y recomendables). Esta Norma es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO/IEC 40500:2012 Information Technology - W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014).

El Reglamento RTE INEN 288, fue aprobado con carácter de obligatorio y entró en vigencia desde el 8 de agosto del 2016. El plazo para adecuar los sitios web existentes al reglamento de acuerdo al nivel de conformidad A y AA, de la norma NTE INEN vigente vence en agosto del 2018 y agosto 2020 respectivamente.

1.3 Trabajos relacionados

En el Ecuador se han realizado pocos estudios previos sobre la accesibilidad de las IES. A continuación se describen los principales trabajos relacionados siguiendo el orden cronológico de publicación.

En el estudio realizado a los sitios web de seis universidades ecuatorianas (Navarrete & Luján-Mora, 2014), los autores recomiendan corregir todos los errores de los portales web de las

universidades analizadas, debido a que no cumplen las directrices de accesibilidad. La evaluación a la página principal de 10 universidades ecuatorianas (Acosta-Vargas, Luján-Mora, & Salvador-Ullauri, 2016), demuestra que ninguna de las páginas web de las IES analizadas son accesibles. En la investigación realizada a los sitios web de 44 universidades ecuatorianas (Acosta & Luján-Mora, 2016), los autores mencionan la posibilidad de una falta de conocimiento de las WCAG 2.0 o poco interés por parte de los responsables de las IES, como de quienes diseñan e implementan los criterios de accesibilidad en los sitios web.

El trabajo presentado en este artículo amplía los estudios realizados previamente en el Ecuador, diferenciándose en los siguientes aspectos:

- Se realiza un análisis más profundo con respecto al cumplimiento de las directrices de accesibilidad propuestas por la WCAG 2.0.
- Se identifican los errores de accesibilidad más comunes, los cuales serán clasificados de acuerdo a los principios de accesibilidad y nivel de conformidad.
- Se realiza un análisis de los errores de accesibilidad y se presentan observaciones para corregir dichos errores.

Dada la importancia de la accesibilidad web, un considerable número de investigaciones se han realizado a nivel mundial en algunas universidades y sitios web gubernamentales. Se pueden mencionar trabajos provenientes de diferentes países como por ejemplo: Turquía (Kurt, 2011) (investigación en la cual se evidencia que los sitios web de las universidades no ofrecían a todos los usuarios igualdad de acceso a la información y servicios), Arabia Saudita (Al-Khalifa, 2012) (estudio en el cual se concluye que los sitios web del gobierno Saudí tienen muchos errores de accesibilidad), Brasil (Lopes Sanches & Simão Oliveira, 2013) (investigación realizada en universidades públicas, en donde se identificó que los principales problemas de accesibilidad afectaban a las personas con discapacidad visual), Estados Unidos (Ringlaben, Bray, & Packard, 2014) (los resultados evidencian que el 97% de las páginas evaluadas tenía problemas de accesibilidad). República de Kirguistán (Ismailova & Kimsanova, 2016) (en este estudio se recomienda tomar atención a los factores humanos relacionados con el desarrollo de las aplicaciones web), India (Ismail & Kuppusamy, 2016) (los autores propone se tomen medidas necesarias para mejorar la accesibilidad de los sitios web), Malasia (Ahmi & Mohamed, 2016) (investigación que aporta con ideas significativas dirigidas a los desarrolladores web para un mejor cumplimiento de las normas). De acuerdo a los resultados presentados en los trabajos previos, en estos países se evidencia de manera general una falta de cumplimiento de los niveles de accesibilidad.

1.4. Preguntas de investigación

El objetivo de esta investigación es:

- Realizar el análisis de la accesibilidad de los sitios web de las universidades ecuatorianas de excelencia pertenecientes a las categorías A, B y C.
- Identificar los errores de accesibilidad de los sitios web de las IES.
- Presentar algunas recomendaciones para un mejor cumplimiento de los directrices de accesibilidad WCAG 2.0 por parte de los diseñadores y desarrolladores de sitios web.

Al mismo tiempo se pretende contestar las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta 1. ¿Cuántas universidades cumplirían el reglamento RTE INEN 288 si este reglamento hubiese sido aplicado en julio del año 2016?

Pregunta 2. ¿Cuál sería su nivel de cumplimiento de las WCAG 2.0?

Pregunta 3. ¿Cuáles son los errores de accesibilidad más comunes en los sitios web de las IES?

Pregunta 4. ¿Cuáles son los principios de accesibilidad que más se incumplen en el diseño e implementación de los sitios web?

Pregunta 5. ¿El cumplimiento de las pautas de accesibilidad está relacionado con el tipo de financiamiento de las IES o la categoría en la cual están ubicadas, de acuerdo al CEAACES?

El resto del artículo se describe como se detalla a continuación:

En la sección 2, de este artículo se hace referencia al método y materiales utilizados para el desarrollo de esta investigación; en la sección 3, se realiza un análisis de los resultados; en la sección 4, se presenta una discusión sobre los resultados. Finalmente, en la sección 5, se establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el análisis.

2. Materiales y método

Este estudio examinó la accesibilidad al contenido web de las universidades ecuatorianas. Para efectuar la evaluación de la accesibilidad se seleccionaron las páginas web: principal y de oferta académica. La página principal permite acceder al resto de páginas de un sitio web y si esta página no es accesible, muy difícilmente los usuarios continuarán navegando por el resto del sitio web, así las demás páginas sean accesibles. Adicionalmente la página principal constituye la primera impresión de una universidad basada en su sitio web, por lo que es esencial crear una presencia web adecuada y de primera clase (Ismailova & Kimsanova, 2016). La página correspondiente a la oferta académica la consideramos debido a esta información es requerida con bastante frecuencia por parte de los estudiantes y aspirantes a ingresar a una IES.

En la actualidad existen diversas herramientas en línea que permiten analizar la accesibilidad de las páginas web (Luján-Mora, 2012). La herramienta examinator (Benavídez, 2015) usada para efectos de este estudio es un software en línea que ofrece el servicio de evaluación de modo automático de la accesibilidad de una página web, la cual usa como referencia algunas técnicas recomendadas por el estándar internacional WCAG 2.0 (Benavídez, 2015). Esta herramienta permite además identificar los posibles errores de accesibilidad de los sitios web, lo cual permite cumplir con uno de los objetivos de esta investigación.

Para efectuar la evaluación de la accesibilidad se tomaron los URL de cada una de las páginas web de las universidades. Esta herramienta proporciona un informe detallado del número de pruebas realizadas, adjudica una puntuación entre 1 y 10 como un indicador rápido de la accesibilidad de las páginas, ajusta la calificación a los juicios de valor o tipo de error: muy mal, mal, regular, bien, muy bien y excelente (Benavídez, 2012).

La evaluación de la accesibilidad de dos páginas web de las universidades se realizó en el mes de julio del 2016. El reporte de los resultados obtenidos (puntaje de evaluación, nombre del error, tipo de error, número de elementos o casos en los que se ha incurrido en el error, número de pruebas y URL de cada una páginas web) fueron guardados en archivos pdf y tabulados en la hoja de cálculo Microsoft Excel.

Posteriormente, a cada uno de los errores identificados se los clasificó de acuerdo a los fallos considerando los principios de accesibilidad, directrices, criterio de conformidad y niveles de conformidad propuestos por la WCAG 2.0

3. Resultados

Se realizó la evaluación de la accesibilidad usando la herramienta en línea examinator. Es importante señalar que examinator tiene una limitación con respecto a la evaluación de las páginas web cuyo URL está basado en el protocolo seguro HTTPS. Debido a esta limitación, las páginas web de tres universidades (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y Universidad de los Hemisferios) no pudieron ser analizadas. Por consiguiente, se analizaron 44 de las 47 universidades acreditadas. En la *Tabla 1,* se puede ver el porcentaje de universidades públicas y particulares evaluadas.

Tabla 1. Porcentaje de universidades evaluadas.

Universidades	Total	Porcentaje
Públicas	20	45%
Particular	24	55%
Total	44	100%

Con respecto al análisis de accesibilidad de la página web que proporciona información sobre la oferta académica se tiene que, en 13 universidades esa información se despliega en la

página principal la cual se analizó en primera instancia. Por lo tanto, se realizó el análisis de la página web de la oferta académica de 31 universidades que proporcionan dicha información en una página exclusiva para tal efecto.

El puntaje promedio obtenido en la evaluación de la accesibilidad web usando la herramienta examinator de las páginas web principal y oferta académica de las universidades ecuatorianas, se muestra en la *Figura 1*. De los resultados se observa que los puntajes más altos en promedio son: 6,6 para la página web principal y 6,3 para la página web oferta académica. Estos puntajes les corresponden a las universidades privadas ubicadas en categoría A, mientras que las demás universidades mantienen un puntaje que no varía significativamente (entre 4,6 y 5,4).

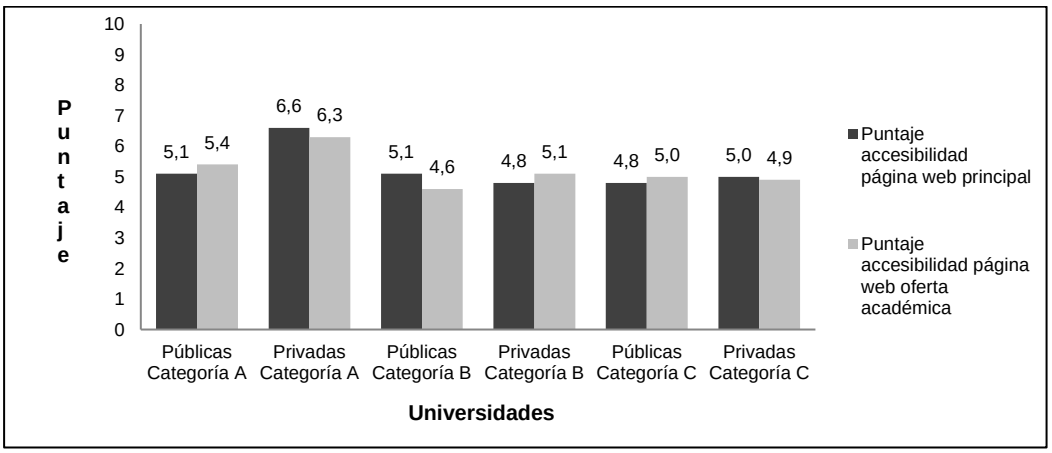


Figura 1. Puntaje promedio de accesibilidad de las páginas web principal y oferta académica de las universidades categorías A, B y C.

En la *Tabla 2,* se observa que el puntaje promedio obtenido en la evaluación de la accesibilidad de las dos páginas web analizadas, de acuerdo al tipo de financiamiento de cada universidad. De manera similar, se observa que este puntaje no varía significativamente por el tipo de financiamiento. El puntaje promedio obtenido para la página web de las universidades públicas es 5,0 y para las universidades particulares es 5,1.

Tabla 2. Puntaje promedio de accesibilidad de las universidades públicas y privadas.

Página web	Universidad	Puntaje promedio accesibilidad
Principal	Públicas	5,0
	Particular	5,1
Oferta académica	Públicas	5,0
	Particular	5,2

Con respecto, a los resultados de la evaluación de la página principal se observó que el puntaje más alto es 7,9 sobre 10, correspondiente a la página web de la Universidad particular de Especialidades Espíritu Santo ubicada en la categoría A. En la página web de esta

universidad se identifican en total 4 errores. El puntaje más bajo es 2,7 de la página web de la universidad del Azuay ubicada en la categoría B, donde se registran un total de 22 errores.

En la página web oferta académica, el puntaje más alto es 7,2 que les corresponde a la Universidad de Cuenca la cual es pública y Universidad de Especialidades Espíritu Santo la cuales es privada, universidades ubicadas en la categoría A, registrándose 7 errores en cada una de páginas web. El puntaje mínimo es 2,9 de la página web de la Universidad pública Escuela Politécnica del Ejército ubicada en la categoría A, en la cual se registran 18 errores (Acosta & Luján-Mora, 2016).

El número total de errores identificados al analizar las dos páginas web de las 44 universidades se tiene que son 54. Estos errores se repiten de manera reiterativa, identificándose 8.970 elementos o casos que presentan dichos errores. En la *Figura 2*, se puede observar que el mayor porcentaje de errores corresponden al principio perceptible, y el menor porcentaje de errores está relacionado con el principio comprensible.

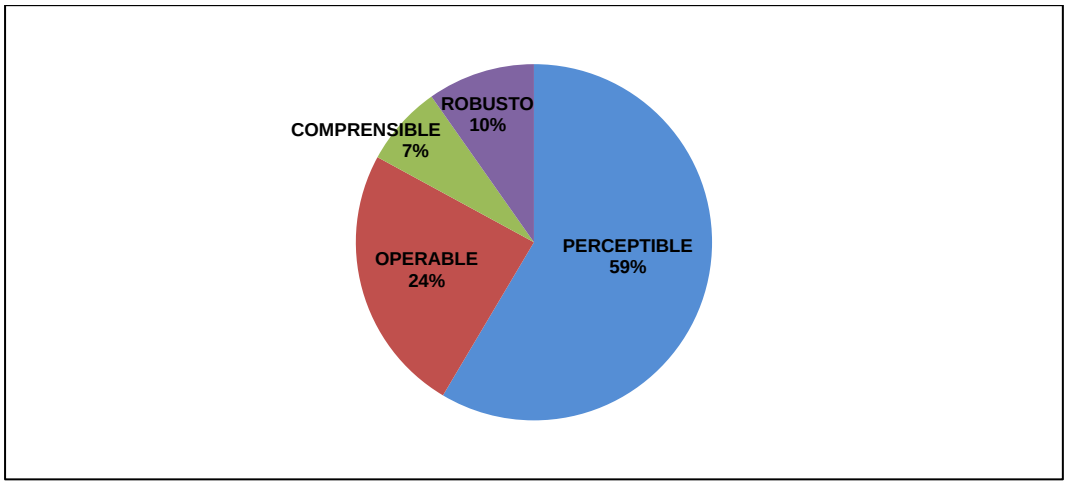


Figura 2. Porcentaje de errores con respecto a los principios de accesibilidad.

En la *Figura 3*, se puede muestra la clasificación de los 8.970 elementos o casos en los que se han identificados los errores de accesibilidad, con respecto a los principios y niveles de conformidad propuestos por la WCAG 2.0.

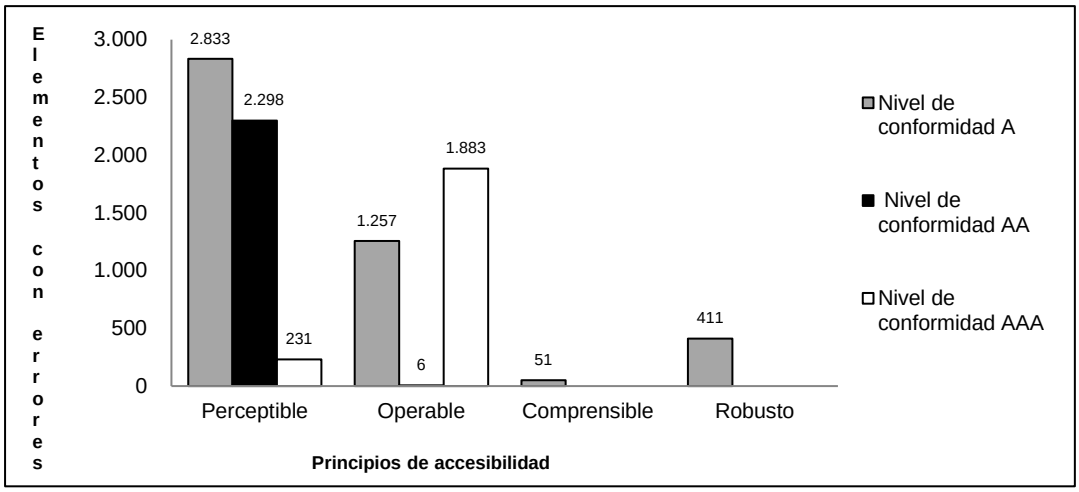


Figura 3. Número de errores con respecto a los principios de accesibilidad y nivel de conformidad.

En la *Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5*, se presentan los 54 errores que fueron identificados por la herramienta examinator, clasificados de acuerdo al juicio de valor regular, mal y muy mal. Adicionalmente para cada error se detalla los fallos con respecto al principio de accesibilidad, directriz, criterio y nivel de conformidad propuestas por las WCAG 2.0.

Los criterios de conformidad tienen asociado un nivel de conformidad que define el nivel de exigencia del criterio. Los niveles de conformidad son: A (el menos exigente), AA y AAA (el más exigente).

Tabla 3. Errores de accesibilidad de tipo regular, usando la herramienta examinator.

Núm.	Nombre del error	Tipo de error	Núm. páginas donde se identifica el error	Número de elementos o casos que presentan el error	Fallo en el principio WCAG 2.0	Fallo en la directrices	Fallo en el criterio de conformidad	Fallo en el nivel de conformidad
1	Combinación de color cuya relación de contraste es menor a 3:1.	Regular	5	11	Perceptible	Distinguible	Contraste (mínimo)	AA
2	De reglas CSS que no especifican los colores de primer plano y fondo a la vez.	Regular	60	1259	Perceptible	Distinguible	Contraste (mínimo)	AA
					Perceptible	Distinguible	Contraste (mejorado)	AAA
					Perceptible	Distinguible	Presentación visual	AAA
3	El atributo title de un enlace sólo repite el texto del enlace.	Regular	33	418	Operable	Navegable	Propósito de un vínculo (en su contexto)	A
					Operable	Navegable	Propósito de un vínculo (vínculo solo)	AAA
4	El tipo de documento no admite el atributo xml:lang.	Regular	6	6	Comprensible	Legible	Idioma de la página	A
5	Elemento fieldset sin descripción.	Regular	2	2	Comprensible	Ayuda a la entrada de datos	Con entrada de datos	A
					Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
6	Elementos input con alt que no son botones gráficos.	Regular	1	2	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
7	Falta el encabezado principal de la página.	Regular	25	25	Operable	Navegable	Encabezados de sección	AAA

					Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
					Perceptible	Distinguible	Imágenes de texto	AA
8	Imagen(es) con más de 100 caracteres en el atributo alt.	Regular	4	6	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
9	Se usa medidas absolutas en atributos HTML.	Regular	28	202	Perceptible	Distinguible	Variar el tamaño de texto	AA
10	Se usan atributos para controlar la presentación visual.	Regular	18	465	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
					Perceptible	Distinguible	Imágenes de texto (sin excepción)	AAA
11	Se usa medidas absolutas para indicar el ancho de un elemento.	Regular	46	329	Perceptible	Distinguible	Variar el tamaño de texto	AA
					Perceptible	Distinguible	Presentación visual	AAA

Tabla 4. Errores de accesibilidad de tipo mal, usando la herramienta examinator.

Núm.	Nombre del error	Tipo de error	Núm. páginas donde se identifica el error	Número de elementos o casos que presentan el error	Fallo en el principio WCAG 2.0	Fallo en la directrices	Fallo en el criterio de conformidad	Fallo en el nivel de conformidad
1	Botón gráfico sin alternativa textual.	Mal	3	3	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
2	De enlaces adyacentes que enlazan con el mismo recurso.	Mal	1	4	Operable	Navegable	Propósito de un vínculo (en su contexto)	A
					Operable	Navegable	Propósito de un vínculo (vínculo solo)	AAA
					Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
3	El primer enlace de la página no lleva al contenido principal de la página.	Mal	69	69	Operable	Navegable	Saltar bloques	A
4	El título de la página contiene 147 caracteres.	Mal	1	1	Operable	Navegable	Página titulada	A
5	Elemento de lista usado fuera de una lista.	Mal	2	2	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
6	Encabezado cuyo contenido es sólo una imagen sin alternativa textual.	Mal	4	6	Operable	Navegable	Encabezados y etiquetas	AA
7	Falta el código de idioma en el atributo xml:lang.	Mal	17	17	Comprensible	Legible	Idioma de la página	A
8	Imagen sin alternativa textual.	Mal	42	513	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
9	La página contiene 2 elementos title.	Mal	1	1	Operable	Navegable	Página titulada	A
10	La página contiene 3 elementos title.	Mal	1	1	Operable	Navegable	Página titulada	A
11	La página no tiene ningún elemento title.	Mal	2	2	Operable	Navegable	Página titulada	A
12	Los encabezados no están anidados correctamente.	Mal	46	80	Operable	Navegable	Encabezados de sección	AAA
					Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
13	No existen enlaces para saltar bloques de contenido.	Mal	49	49	Operable	Navegable	Saltar bloques	A
14	No se usan encabezados en la página.	Mal	12	12	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
15	Se usa texto justificado.	Mal	2	2	Perceptible	Distinguible	Presentación visual	AAA
16	Se usan elemento para controlar la presentación visual.	Mal	9	37	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
17	Secuencia de 3 ó más de elementos que pueden estar representando los elementos de una lista.	Mal	5	39	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
18	Tabla sin encabezados pero con caption y/o el atributo summary.	Mal	1	1	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
19	Tablas de datos complejas con celdas de datos sin el atributo headers.	Mal	1	2	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
20	Tablas que contienen una o más tablas anidadas.	Mal	12	86	Perceptible	Adaptabilidad	Secuencia significativa	A
21	Valores repetidos en los atributos id.	Mal	23	201	Robusto	Compatible	Interpretación	A

Tabla 5. Errores de accesibilidad de tipo muy mal, usando la herramienta examinator.

Núm.	Nombre del error	Tipo de error	Núm. páginas donde se identifica el error	Número de elementos o casos que presentan el error	Fallo en el principio WCAG 2.0	Fallo en la directrices	Fallo en el criterio de conformidad	Fallo en el nivel de conformidad
1	Controles de formulario sin etiquetas asociadas.	Muy mal	7	19	Comprensible	Ayuda a la entrada de datos	Con entrada de datos	A
					Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
					Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
					Robusto	Compatible	Nombre, rol, valor	A
2	Controles de formulario sin etiquetas asociadas ni atributo title.	Muy mal	35	54	Comprensible	Ayuda a la entrada de datos	Con entrada de datos	A
					Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
					Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
					Robusto	Compatible	Nombre, rol, valor	A
3	Elemento iframe sin title.	Muy mal	34	44	Operable	Navegable	Saltar bloques	A
					Robusto	Compatible	Nombre, rol, valor	A
4	Elemento label sin contenido textual.	Muy mal	1	1	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
					Robusto	Compatible	Nombre, rol, valor	A
5	Elemento object sin alternativa textual.	Muy mal	5	11	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
6	Elementos embed sin contenido alternativo.	Muy mal	1	10	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
					Perceptible	Contenido multimedia dependiente del tiempo	Alternativa multimedia (pregrabada)	AAA
7	Elementos o atributos HTML para controlar la presentación del texto.	Muy mal	52	759	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
					Perceptible	Distinguible	Variar el tamaño de texto	AA
					Perceptible	Distinguible	Imágenes de texto	AA
					Perceptible	Distinguible	Imágenes de texto (sin excepción)	AAA
8	Enlaces con el mismo texto pero diferentes destinos.	Muy mal	73	1883	Operable	Navegable	Propósito de un vínculo (vínculo solo)	AAA
9	Enlaces cuyo contenido es sólo una imagen sin alternativa textual.	Muy mal	51	559	Operable	Navegable	Propósito de un vínculo (en su contexto)	A
					Operable	Navegable	Propósito de un vínculo (vínculo solo)	AAA
					Robusto	Compatible	Nombre, rol, valor	A
10	Etiqueta sin atributo for.	Muy mal	4	10	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
					Robusto	Compatible	Nombre, rol, valor	A
11	Formulario sin un botón de envío.	Muy mal	25	28	Comprensible	Ayuda a la entrada de datos	Con entrada de datos	A
12	Hay elementos area sin alternativas textuales.	Muy mal	2	12	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
13	Imágenes con el atributo alt nulo.	Muy mal	22	382	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
14	Imágenes con una alternativa textual que no sirve como alternativa.	Muy mal	3	21	Perceptible	Alternativas textuales	Contenido no textual	A
					Perceptible	Contenido multimedia dependiente del tiempo	Sólo audio y sólo vídeo (pregrabado)	A
15	No se utilizan manejadores de eventos redundantes.	Muy mal	8	112	Operable	Accesible a través del teclado	Teclado	A
					Operable	Accesible a través del teclado	Teclado (sin excepción)	AAA
16	Se asocian eventos a elementos no interactivos.	Muy mal	8	210	Robusto	Compatible	Nombre, rol, valor	A
17	Se especifica un espaciado entre líneas menor a 1,5.	Muy mal	6	72	Perceptible	Distinguible	Presentación visual	AAA
18	Se especifican valores absolutos para el tamaño de las fuentes.	Muy mal	51	497	Perceptible	Distinguible	Variar el tamaño de texto	AA
19	Se usa un elemento marquee.	Muy mal	1	1	Operable	Tiempo suficiente	Pausar, detener, ocultar	A
20	Tablas de datos sin caption ni el atributo summary.	Muy mal	5	39	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
21	Tablas sin celdas de encabezados.	Muy mal	29	236	Perceptible	Adaptabilidad	Información y relaciones	A
22	Se usa texto justificado en las CSS.	Muy mal	25	157	Perceptible	Distinguible	Presentación visual	AAA

4. Discusión

Basados en los resultados del estudio de accesibilidad realizado a 2 páginas web, de las 44 universidades del Ecuador ubicadas en las categorías A, B y C, se contestan las preguntas de investigación.

Respuesta de investigación 1. Ninguna de las universidades ecuatorianas cumple con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288, si el reglamento hubiese sido aplicado en julio del año 2016.

Respuesta de investigación 2. Los resultados de la evaluación de la accesibilidad usando las herramienta examinator, muestran que el puntaje promedio general es 5,0 sobre 10 puntos, por lo que, las páginas web de las IES no son accesibles.

Respuesta de investigación 3. De los 54 errores de accesibilidad identificados, 11 corresponden al tipo regular, 21 a mal y 22 a muy mal. Los 3 errores más frecuentes clasificados de acuerdo al tipo de error (regular, mal y muy mal) y sus recomendaciones se presentan en la *Tabla 7.*

Tabla 7. Errores de accesibilidad más frecuentes.

Num.	Error	Tipo	Recomendaciones
1	De reglas CSS que no especifican los colores de primer plano y fondo a la vez.	Regular	Error en los criterios de conformidad 1.4.3, 1.4.6 y 1.4.8 debido a que, se especifican colores del frente sin especificar colores de fondo o viceversa. Es recomendable que el color de primer plano y de fondo se definan en la misma regla CSS. De esta manera los usuarios con pérdida de visión o capacidad cognitiva, con problemas de lenguaje y de aprendizaje se les facilite acceder a una página web.
2	Se usan atributos para controlar la presentación visual.	Regular	Error en los criterios de conformidad 1.3.1, 1.4.5, 1.4.9 ya que, se debe separar la información y la estructura en la presentación para permitir presentaciones diferentes. Proporcionar las capas de estructura, funcionalidad y presentación separadas permite que la semántica implícita en el formato pueda ser determinada por software a través de la capa de estructura.
3	El atributo title de un enlace sólo repite el texto del enlace.	Regular	Error en los criterios de conformidad 2.4.4 y 2.4.9, debido a que, el atributo title se debe usar para proporcionar información adicional para aclarar o describir con más detalle el propósito de un enlace. Se debe comprobar que el atributo title, junto con el texto del enlace, describan el propósito del enlace. Si la información complementaria proporcionada por el atributo title es algo que el usuario debe saber antes de seguir el enlace, como una advertencia, entonces debe ser proporcionada en el texto del enlace y no en el atributo title.
4	Imagen sin alternativa textual.	Mal	Fallo del Criterio de Conformidad 1.1.1 debido a la omisión del atributo alt en elementos img, elementos area, y elementos input de tipo "image". Los textos alternativos son el principal medio para hacer accesible la información ya que se pueden interpretar a través de cualquier modalidad sensorial (visual, auditiva o táctil) que mejor satisfaga las necesidades del usuario.
5	Valores repetidos en los atributos id.	Mal	Error en el criterio de conformidad 4.1.1 debido a la duplicación de valores de tipo ID. Duplicación que puede ser problemática para las aplicaciones de usuario que dependen de este atributo para presentar correctamente al usuario las relaciones entre las distintas partes del contenido.
6	Tablas que contienen una o más tablas anidadas.	Mal	Error en el criterio de conformidad 1.3.2. Si una tabla contiene una tabla anidada, la secuencia de la información transmitida a través de la presentación visual puede no ser perceptible cuando el contenido es leído por un lector de pantalla.
7	Enlaces con el mismo texto pero diferentes destinos.	Muy mal	Error en el criterio de conformidad 2.4.9. Las personas ciegas que usan lectores de pantalla, pero si muchos de los enlaces dicen "haga clic aquí" o "más" no estarán en condiciones de utilizar esta característica en su lector de pantalla, que es una estrategia de navegación muy importante. Los enlaces con los mismos destinos deben tener las mismas descripciones y aquellos enlaces con distintos destinos deben tener diferentes descripciones.
8	Elementos o atributos HTML para controlar la presentación del texto.	Muy mal	Error en los criterios de conformidad 1.3.1, 1.4.4, 1.4.5, 1.4.9. Se recomienda utilizar las CSS para controlar la presentación visual del texto.
9	Enlaces cuyo contenido es sólo una imagen sin alternativa textual.	Muy mal	Error en los criterios de conformidad 2.4.4, 2.4.9 y 4.1.2 debido al uso de alt nulo en una imagen que constituye el único contenido de un enlace. Cuando el propósito de cada enlace puede ser identificado por su texto, estos pueden ser entendidos cuando están fuera de contexto, como cuando la aplicación de usuario proporciona una lista con todos los enlaces de la página.

Respuesta de investigación 4. El principio de accesibilidad que más se incumple en el diseño e implementación de los sitios web es el principio perceptible, seguido por los principios operable, robusto y comprensible en un menor porcentaje.

Respuesta de investigación 5. De los resultados, no se aprecian diferencias significativas en el cumplimiento de las directrices de accesibilidad con respecto a de los sitios web de las IES públicas o privadas. De igual manera la categoría en la cual están ubicadas las IES no constituye un factor determinante para la accesibilidad de sus sitios web. Se recalca que las universidades particulares ubicadas en categoría A, obtuvieron en promedio el mejor puntaje de 6.4 sobre 10 puntos.

5. Conclusiones y recomendaciones

En esta investigación, se evaluó la accesibilidad de 44 universidades ecuatorianas usando el software en línea examinator (tres universidades no pudieron ser evaluadas debido a una limitación de la herramienta para evaluar páginas web cuyo URL está basado en el protocolo seguro HTTPS). De los resultados obtenidos se puede concluir que los sitios web de las IES no son accesibles. Ninguna de las universidades evaluadas cumple con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 el cual está vigente y es de cumplimiento obligatorio para las IES.

El puntaje promedio de accesibilidad de las páginas web analizadas es de 5.0 sobre 10, puntaje que no varía significativamente por el tipo de financiamiento ni por la categoría en la que se encuentren ubicadas las IES. Por lo tanto, constituye un desafío para los diseñadores y desarrolladores de sitios web capacitarse con respecto a las directrices de accesibilidad al contenido web WCAG 2.0. El puntaje obtenido también demuestra que a pesar del avance tecnológico las barreras que deben vencer las personas con discapacidad para acceder a los sitios web de las IES, son muy fuertes en el Ecuador.

A partir de los 54 errores de accesibilidad que la herramienta examinator identificó y los 8.970 elementos en los cuales se han incurrido en dichos errores, se concluye que:

- El 59% corresponden a fallos en el principio de accesibilidad perceptible, 24% al principio operable, el 10% al principio robusto y el 7% al principio comprensible.
- El 50% corresponden a errores en el nivel de conformidad A, y el 25% en cada uno de los niveles de conformidad AA y AAA respectivamente.

Se recomienda que las IES tomen en cuenta los resultados y recomendaciones de la evaluación de la accesibilidad presentados este trabajo de investigación con el fin de mejorar o rediseñar sus sitios web. Al mismo tiempo se recomienda tener presente la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500, y el reglamento RTE INEN 288, ya que al implementar las directrices

de accesibilidad al contenido web WCAG 2.0, podremos disponer de sitios web más inclusivos, brindar igualdad de oportunidades a todas las personas y eliminar la discriminación.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten conocer el estado actual de la accesibilidad de los sitios web de las IES. Se recomienda que las universidades desarrollen un plan para iniciar procesos de adaptación o de desarrollo de sus sitios web accesibles, ya que los plazos para el cumplimiento del RTE INEN 288 están establecidos.

Bibliografía

Acosta, T., & Luján-Mora, S. (2016). Errores de accesibilidad más comunes en los sitios web de las universidades ecuatorinas. *International Conference on Information System and Computer Science*, (págs. 48-55). Quito.

Acosta-Vargas, P., Luján-Mora, S., & Salvador-Ullauri, L. (2016). Evaluación de la accesibilidad de las páginas web de las universidades ecuatorianas. *Revista Congreso de Ciencia y Tecnología, 11*, 181-187.

Ahmi, A., & Mohamed, R. (2016). Evaluating Accessibility of Malasyan Public Universities Websites using Achecker and Wave. *Journal of Information and Communication Technology, 15, 193-214*.Malasia.

Al-Khalifa, H. (2012). The accessibility of Saudi Arabia government Web sites: an exploratory study. *Universal Access in the Information Society, 11*(2), 201-210.

Benavídez, C. (2012). *Libro blanco de eXaminator.* Recuperado el 13 de 07 de 2016, de http://examinator.ws/info/libro_blanco_examinator.pdf

Benavídez, C. (2015). *examinator*. Obtenido de http://examinator.ws/

Consejo de Evaluación Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior. (Septiembre de 2015). *CEAAACES*. Recuperado el 8 de Junio de 2016, de http://www.ceaaces.gob.ec/

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización: http://www.normalizacion.gob.ec/

Ismail, A., & Kuppusamy, K. S. (2016). Accessibility of Indian universities´homepages: An exploratory study. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*.

Ismailova, R., & Kimsanova, G. (24 de Junio de 2016). Universities of the Kyrgyz Republic on the Web: accessibility and usability. *Universal Access in the Information Society*.

Kurt, S. (Marzo de 2011). The accessibility of university web sites: The case of Turkish universities. *Universal Access in the Information Society, 10*(1), 101-110.

Lopes Sanches, M. A., & Simão Oliveira, L. (2013). Accessibility Study in Sites of Public Higher Education Institution in Brazil. En *Advances in Information Systems and Technologies* (Vol. 206, págs. 1087-1094). Springer Berlin Heidelberg.

Luján-Mora, S. (2013). Web Accessibility Among the Countries of the European Union: a Comparative Study. *Actual Problems of Computer Science*, 18-27.

Luján-Mora, S. (2012). *Herramientas de revisión automática de la accesibilidad web*. Recuperado el 5 de Junio de 2016, de http://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=hr-revision-automaticas

Ministerio de Industrias y Productividad. (2016). Recuperado el 8 de Mayo de 2016, de http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/RTE-288.pdf

Navarrete, R., & Luján-Mora, S. (2014). Accesibilidad web en las Universidades del Ecuador. Análisis preliminar. *Revista Politécnica, 33*(1), 156-163.

Noh, K.-R., Jeong, E.-S., You, Y.-B., Moon, S.-J., & Kang, M.-B. (2015). A study on the current status and strategies for improvement of web accessibility compliance of public institutions. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*.

Organización de Naciones Unidas. (2006). *Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad*. Obtenido de Convención ONU Discapacidad: https://www.un.org/development/desa/disabilities-es/convencion-sobre-los-derechos-de-las-personas-con-discapacidad-2.html

Ringlaben, R., Bray, M., & Packard, A. (Junio de 2014). Accessibility of American University Special Education Departments' Web sites. *Universal Access in the Information Society, 13*(2), 249-254.

World Wide Web Consortium. (2008). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0*. Recuperado el 12 de Marzo de 2016, de https://www.w3.org/TR/WCAG20/

World Wide Web Consortium. (2016). Obtenido de People of the W3C: https://www.w3.org/People/

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.62 - 76
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363

Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Assessment of the Quality of Leadership in the Government of Technologies and Information Systems

(Evaluación de la Calidad de Liderazgo en el Gobierno de Tecnologías y Sistemas de Información)

Vicente Merchán[1], Rocío Rodríguez[2]

Abstract:
Nowadays, leadership and the style of governing have become one of the quality criteria that challenges the Government of Technologies and Information Systems (GoTIS) value-based on public domain. In this aspect, the excellence models and GoTIS standards play a vital role in the success of the organizations due to their usefulness as systems that help the improvement towards the organizational excellence. Two of them are the Ibero-american Model of Excellence in Public Administration and the GoTIS standard ISO/IEC 38500. This paper takes them into account to create a new assessment model of GoTSI, the same one that is validated through the opinion of leaders of technologies and information systems of high-level. The work provides two sub-criteria, eleven dimensions and five components of assessment. This model will allow GoTIS assess itself as a principle of quality and, from there, make an improvement and an organizational change of the processes and GoTIS team decisions. Similarly, it will also help to open the way to the development of new quality criteria from a specific and comprehensive view.

Keywords: TIS government; leadership; measurement and quality assessment; technology and information systems.

Resumen:
En la actualidad, el liderazgo y estilo de gobierno se han convertido en uno de los criterios de calidad que desafían al Gobierno de las Tecnologías y Sistemas de Información (GoTSI) basado en valor en el dominio público. En este aspecto, el conocimiento sobre los modelos de excelencia y los estándares GoTSI juegan un papel vital en el éxito de las organizaciones debido a su utilidad como sistemas que ayudan a mejorar la excelencia organizacional. Dos de estos son el Modelo Iberoamericano de Excelencia en la Administración Pública y el estándar GoTSI ISO/IEC 38500. Este trabajo los toma en cuenta para crear un nuevo modelo de evaluación de GoTSI, el mismo que es validado a través de la opinión de líderes de tecnologías y sistemas de información de nivel directivo. En términos generales, el nuevo modelo se compone de 2 sub-criterios, 11 dimensiones y 5 componentes de evaluación. Este permitirá que el GoTSI se evalúe como principio de calidad y, a partir de ahí, realice una mejora y un cambio organizativo de los procesos y decisiones del equipo GoTSI. Del mismo modo, también ayudará a abrir el camino al desarrollo de nuevos criterios de calidad con una visión específica y completa.

Palabras clave: Gobierno de TSI; liderazgo; medición y evaluación de calidad; tecnología y sistemas de información.

[1] Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí – Ecuador (vrmerchan@espe.edu.ec)
[2] Universidad Nacional de La Matanza, Buenos Aires – Argentina (rocio.rodriguez@unlam.edu.ar)

1. Introduction

Quality is essentially one of the factors that allows the organizations of Technologies and Information Systems (TIS) to become competitive in current environment. For decades, quality has become the main strategic aim of many organizations because its survival depends on the quality of services provided to internal and external users.

Before proceeding and in order to avoid confusions, we will use the term "TIS" as synonymous of "IT" or "TIC" based on the definition of the ISO / IEC 38500 standard (International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Comission (IEC), 2008), which defines this as: "the necessary resources to acquire, process, store and disseminate information".

According to (Pérez Juste, López Rupérez, Peralta Ortiz, & Municio Fernández, 2014), quality is defined as " … quality, as a complex reality, must be understood as an inclusive harmonization of these different elements: effectiveness achieving a service, product or excellent object, through efficient processes, that are satisfactory to the direct and indirect recipients, and to the staff of the organization responsible for achieving it".

In a definitional sense, the scientific and cultural revolution of the organizations in the twenty-first century demands a new paradigm, which is called "inclusive culture" (Pérez Juste, López Rupérez, Peralta Ortiz, & Municio Fernández, 2014), because it belongs to a new conception of the world and life. The inclusive culture includes historical aspects of quality in order to search for a better solution to the problems of the organizations in all of their aspects. The quality stops to focus on the good or on the product and becomes a requirement of the entire organization through its leaders. The role of the management and the employee involvement are the essential factors of change.

In the case of leadership that is understood as a quality criterion, it has been written about the influence of this aspect not only in general, but also in specific and exhaustive of the subject. Among them: Nwabueza (Nwabueze, 2011), Bäcktröm (Bäcktröm, Wiklund, & Ingelsson, 2011), Doeleman (Doeleman, Have, & Ahaus, 2012), Ooi (Ooi, 2012) and González (González Rosas, Carrión García, & Acosta Uribe, 2014) have made studies to analyze it. The leadership has been translated into models of excellence and quality for the evaluation of organizations through sub-criteria, dimensions and components (Benavides Velasco & Quintana García, 2003) (Martínez-Vilanova y Martínez, 2008) (Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad [FUNDIBEQ], 2015). Similarly, it has been translated into the principles of ISO / IEC 38500 (International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Comission (IEC), 2008) standard for the evaluation of the Government of Technology and Information Systems (GoTIS).

The organization directing, evaluating and controling regardless of its quality criterias. The use of TIS should also be directed and controlled, under the support of a GoTIS value-based leadership. In this regard, the guidance provided by the ISO / IEC 38500 (Toomey, 2009) (Fernández Martínez & Llorens Largo, 2012) (International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Comission (IEC), 2008) standard is appropriate. However, there are related works demonstrating the need for innovation from the perspective of quality assessment in the GoTIS (Sánchez Peña, 2013) (Merchán & Rodriguez, Towards Value-Based Information Technology Leadership Excellence, 2016).

According to directing perspective, there are quality criteria that are covered by a full understanding of the principles of the standard. However, these are not an aim in which the standard is focused. Consequently, this allows reviewing the concepts of "GoTIS quality" and specially the leadership concepts proposed in other studies. This also allows proposing in our context a set of sub-criteria, dimensions and components that guide the evaluation processes of the quality of leadership seen as a criterion. The new model is validated through a research survey (Pfleeger & Kitchenham, 2001), that reflects the opinion of technology and information systems leaders.

This paper has four more sections. The second section provides the background about assessment models from the conceptual point of view, emphasizing leadership. The third section, GoTIS value-based assessment model of leadership is proposed. The fourth section, the proposal is validated. Finally, the conclusions and future works are stated in fifth section.

2. Assessment models

Some evaluation models are described in the context of quality:

- Model MBNQA (BNQP - Baldrige National Quality Program, 2015): Is responsible for evaluating and improving the performance through 7 basic criteria: leadership, strategic planning, customer and market focus, information and analysis, the focus of human resources, process management and business results. The program provides a total score of 1000 points in the final evaluation. The model defines leadership as the rank that guides and keeps the organization. It includes the government system, the ethical and social responsibilities, and key communities.
- EFQM (European Foundation for Quality Management [EFQM], 2013): It is responsible for improving the business performance by understanding the strengths and weaknesses that need to be improved through the assessment of 5 enablers or "criteria" such as: leadership, strategy, people, suppliers and resources and, processes, products and services; and 4 agents of results that are: customers, people, society and key. The model defines leadership as the model for its value and ethics, being a person who inspires reliability. It

looks at the future and makes things happen. Flexible people allow the organization to anticipate and react in time to ensure its success.

- Ibero-american Model (Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad [FUNDIBEQ], 2015): The model is aimed to the public administration. It consists of 5 facilitators criteria and 4 criteria results. Each criterion has its respective sub-criteria. The facilitators criteria are: Leadership and government style, strategy, people development, resources and partners, and processes and customers-citizens. The criteria results are: Client-citizens, people development, society and globals. All of them assign a total score of 1000 points in the final evaluation. This model defines leadership as the process that directing and guiding the activities of the members of a group influencing on the process to route their efforts towards achieving a goal or specific goals.

There are some works of TIS that have used these assessment models with relevant purposes and that are now taken into account. Such is the case of Municio (Municio & Red Universitaria de Evaluación de la Calidad RUEC, 1998) who led to the creation of the high education quality assessment model with the definition of variables based on TIS. Sanchez (Sánchez Peña, 2013) created two models to assess the quality of GoTIS based on ITIL and COBIT; Merchán (Merchán & Rodríguez, Análisis de los modelos de Gobierno de Tecnologías de la Información y sus relaciones con el Modelo de Excelencia Iberoamericano, 2015) analyzed the relationship between the ibero-american model and ISO/IEC 38500.

3. Proposed quality model

If you do not have an evaluation model and works as described above, it would be an arduous task to determine the GoTIS leadership as a quality criterion. Thus, based on this information, a critical analysis of the criterion of leadership is performed and a description of the sub-criteria, dimensions and components of quality assessment is proposed. This proposal received suggestions from three experts on government. Finally, the operational validation of the proposal took place by a group of twenty-seven leaders of TIS that are on leadership positions and / or Chief Information Officers public and private organizations in Ecuador.

In addition, this work is not about looking adoptions nor adaptations to current dysfunctions. What is sought is an approach to assessing the quality of GoTIS leadership for the local environment in the following terms (Merchán & Rodriguez, Towards Value-Based Information Technology Leadership Excellence, 2016):

1) Identification of basic quality principles on which the proposal is based: A first principle of leadership is in the framework of actions, the systematic support and the commitment of the senior management to quality through the process of GoTIS decision making. In the process of governance, the strategy, mission and vision are formulated, the objectives are expressed, the

plans and projects are approved, the resources are organized, the technologies are selected, and the processes and results are evaluated. The leader who supports quality does it consciously and coherently. This creates a culture in which every action and decision is at the service of quality. The evaluation measure is the second leadership principle, which translates the criteria value into control elements that can be evaluated in terms of their level of compliance.

2) Evaluation model: *Figure 1* shows the structure of the proposed evaluation model, which includes two quality sub-criteria: Culture of value-based excellence, value-based TIS-Enterprise Architecture; and eleven dimensions (which will be detailed later in this section).

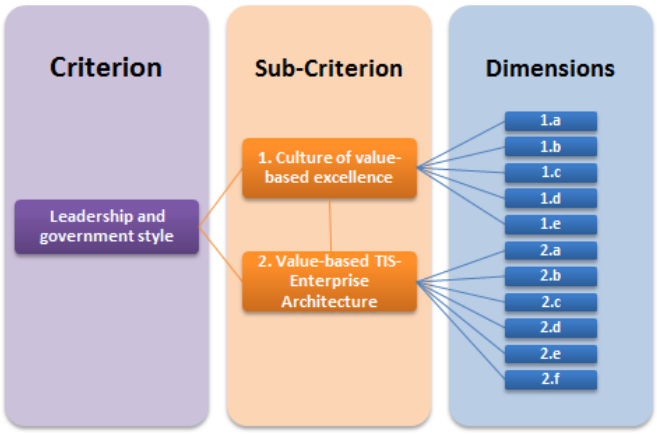


Figure 1. Structure of the evaluation model

Each sub-criteria includes characteristics of TIS organization considered necessary to get good results through the leadership criteria and the defined governance style. The content of the sub-criteria meets the quality principles described in the previous subsection, and captures the essence of the reviewed principles of quality models. Both sub-criteria are defined in terms of 11 assigned dimensions.

The hierarchy of the evaluation model to guide the classification of sub-criteria, dimensions and evidence is appreciated in *Figure 2*.

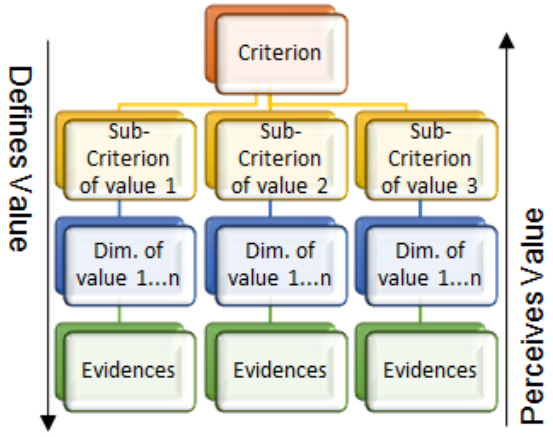


Figure 2. Hierarchy of the evaluation model

The previous model defines the Value at the top of the hierarchy acting as a facilitator that is related directly to the effects of the business. Leadership and its effects are consistent with the perception of value that the business will have. Likewise, the sub-criteria influence on the definition of the dimensions, and these influence on the evidence. It is important to state that the evaluation model provides feedback for quality criteria. The dimensions are designed to measure the achievement of each of the sub-criteria. The dimensions have the characteristic to define the most significant aspects of the sub-criteria. Finally, the evidences, representing quantitative or qualitative data, facilitate the value judgment of the accomplishment of the dimensions on GoTIS team. *Table I* describes the components that make up the leadership criterion.

Table I. The components that make up leadership

Sub-criterion	It refers to…
Culture of value-based excellence	The commitment that the leaders have with the culture of excellence. The definition of values is promoted formally. The role of the organization in line with the principles of service, mission, vision and values of the organization is modeled. The policy of quality is defined. Being active and being involved in improvement activities, stimulating and encouraging innovation and creativity.
Value-based TIS-Enterprise Architecture	Oriented to business alignment. The key activities of the organization; especially those that generate greater value for the customer and the same company, area or service. The leaders formalize the management system and the results; and the corporate structure to the alignment of TIS. The culture is based on TIS business architecture.

Each sub-criterion is defined by dimensions that represent general aspects of what is included in the model. These in turn are evaluated by five components that make up the evidences: Importance, Diffusion, Utilization, Monitoring and Perceived value. Tables II and III show the dimensions and effects of the fifth component: Perceived value.

Table II. Topics to be assessed in the culture of excellence

Dimensions	Effects from the perceived value
1.a. Leaders. ¿Are they involved actively and visibly in the definition of value for the organization?	**a.** TIS Government policy on the results of TIS Governance **b.** Mission, vision and values in the results of the Government of TIS. **c.** Enterprise values for business integration. **d.** Growth of the efficiency and effectiveness of compliance with strategic objectives as a result of the Government of TIS. **e.** Participation of people in innovation and improvements that are accepted by the business.
1.b. Leaders. ¿Are they involved actively and visibly in the definition and development of fundamental strategic objectives of the service that generates value?	
1.c. Leaders. ¿Do they act as role models for the compliance with the fundamental strategic objectives of the service that generates value?	
1.d. Leaders. ¿Are they involved actively and visibly in the development that stimulates and encourages innovation and creativity based on the value that TIS have to deliver?	
1.e. The company. ¿Does the company have a documented and communicated TIS value government policy to incorporate quality criteria of government, ensuring an updated and transparent information?	

Table III. Topics to be assessed in TIS-Enterprise Architecture

Dimensions	Perceived value effects
2.a. Leaders. Should they be involved in defining GoTIS as senior executives?	**a.** Increased communication and cooperation between GoTIS team and business units. **b.** Increased communication, interpersonal relationship and cooperation. **c.** Existence of organizational structure to facilitate the governance and management in the value creation. **d.** Use of TIS as a means of management. **e.** Efficient management of processes that generate value of service.
2.b. Leaders. Should they provide the establishment of committees and appropriate support structures capable of maintaining an optimal coordination structure, communication and linkage between TIS function and the other stakeholders of the business?	
2.c. Leaders at the right time. Do they evaluate the benefits that are delivered to the business?	
2.d. Leaders at the right time. Do they give responsibilities and ensure the proper compliance with them?	
2.e. Leaders at the right time. Do they make important decisions that concern them to improve the government and therefore the management of the service that generates value on the business?	
2.f. Leaders. Do they make sure that a system of governance, management, evaluation and improvement of the processes that generate value of service to the business is developed and implemented?	

3) Method of measurement and assessment: The quality is introduced following a systematic hierarchical process for each sub-criterion. This process allows to get orderly, systematically and consistently the subjective elements of the evaluators and then incorporate quantitative elements estimating the value. The general rating scale shown on *Table IV* consists of three hierarchical and independent levels of evaluation that have to be analyzed properly.

Table IV. General rating scale

Hierarchy	Evaluation Level	Score
1	Implementation	0.4
2	Application	0.3
3	Effect	0.3

The first level measures the implementation of GoTIS quality system. The measurement of the implementation is performed on the dimensions that define each sub-criterion. Each dimension is measured in terms of two Implementation components: Importance and Diffusion. The second level measures the application of GoTIS quality system. The Application measurement is performed on the dimensions that define each sub-criterion. Each dimension is measured in terms of two components of Application: Utilization and Monitoring. The third level includes the measurement of GoTIS quality system effects according to the perceived value by the shareholders, executives and/or employees. Finally, the score assigned to each level corresponds to a criterion of importance that it represents.

Each dimension is assessed in terms of its components and each component is valued according to a Likert rating scale with five scores as it is shown on *Table V*.

Table V. Scoring

Low/Poor	Low Average	Average	Above Average	High/Good
0.00	0.25	0.5	0.75	1.00

The concepts of successions and series (Allen R., 2008) are used to develop equations that allow to calculate the components, dimensions, sub-criterion and criterion of the model.

Equations (1) and (2) allow to evaluate the Importance I[*i*] and Diffusion D[*i*], respectively; of the *i-th* dimension to a set of *k* evaluators.

$$I[i]=\sum_{j=1}^{k}(I[i,j]*score)/k \quad (1)$$

$$D[i]=\sum_{j=1}^{k}D[i,j]*score/k \quad (2)$$

Where:

score (1) and (2) represent the value assigned by the assessor to the component according to the rating scale.

The level of Implementation of the sub-criterion ***IMSC*** of the *i* dimensions set is measured by (1) and (2) as shown in (3).

$$\boldsymbol{IMSC} = \frac{\sum_{i=1}^{n} I[i] * D[i]}{\sum_{i=1}^{n} I[i] * weight} \quad (3)$$

Where:

Weight represents the highest value of the scoring.

Equations (4) and (5) allow to measure the Use U[*i*] and Monitoring S[*i*], respectively of the *i-th* dimension for a set of *k* evaluators.

$$U[i]=\sum_{j=1}^{k}U[i,j]*score/k \quad (4)$$

$$S[i]=\sum_{j=1}^{k}S[i,j]*score/k \quad (5)$$

Where:

score (4) and (5) represent the value assigned by the assessor to the component according to scoring.

The Application level of the ***APSC*** sub-criterion of the *i* dimensions set is measured through (4) and (5), as shown in (6).

$$\boldsymbol{APSC} = \frac{\sum_{i=1}^{n} U[i] * S[i]}{\sum_{i=1}^{n} U[i] * weight} \quad (6)$$

Where:

weight of (6) represents the highest value of the scoring.

Equation (7) allows to measure the Perceived Value V[*i*] of the *i-th* dimension to a set of *k* evaluators.

$$V[i] = \sum_{j=1}^{k} V[i,j]*score/k \quad (7)$$

Where:

score (7) represents the value assigned by the assessor to the component according to the scoring.

The level of Effect of the ***EFSC*** sub-criterion of the *i* dimensions set is measured through (7) as shown in (8).

$$\boldsymbol{EFSC} = \sqrt[n]{V_1 * V_2 * V_3 * \dots * V_n}/weight \quad (8)$$

Where:

weight of (8) represents the highest value of the scoring.

Equation (9) determines the total measure of a sub-criterion **SC**.

$$\boldsymbol{SC} = (IMSC *PIM)+(APSC *PAP)+(EFSC *PEF) \quad (9)$$

Where:

IMSC, *APSC* and *EFSC* represent the implementation measures, application and effect of the respectively sub-criterion; and, *PIM*, *PAP* and *PEF* represent the weighting values assigned to the implementation level, application and effect respectively.

Equation (10) determines the total measure of the **CR** criterion and therefore of GoTIS *leadership* quality system.

$$\boldsymbol{CR} = \sqrt[n]{\boldsymbol{IMSC_1} * \dots * \boldsymbol{IMSC_n}} * \boldsymbol{PIM} +$$

$$+\sqrt[n]{\boldsymbol{APSC_1} * \dots * \boldsymbol{APSC_n}} * \boldsymbol{PAP} +$$

$$+\sqrt[n]{\boldsymbol{EFSC_1} * \dots * \boldsymbol{EFSC_n}} * \boldsymbol{PEF} \quad (10)$$

Where:

n represents the number of sub-criteria associated with ***CR*** criterion.

The total measurement of *CR* criteria will be evaluated according to quality parameters, which were also defined by TIS leading experts. *Table VI* shows the level of leadership quality by percentage. This table shows a range of proportional measure between the number of levels that are estimated to have the same importance.

Table VI. Level of *leadership* quality

Level of quality	Total measure range (%)
Low quality	00.00 – 20.00
Medium low quality	20.01 – 40.00
Moderate quality	40.01 – 60.00
Medium high quality	60.01 – 80.00
High quality	80.01 – 100.00

The evaluation process should be supported in the use of questionnaires and/or interviews, tables and graphs for each sub-criterion, as part of the work of the evaluation team. The use of tools that support the process to replace the data of leaders avoiding the possible influence of an evaluator and that can influence the process is not excluded.

Finally, the self-evaluation process follows three steps: Awareness, Planning, Implementation, Learned Lessons and Final Report.

4. Validation of the proposed quality model

The validation of the model featured the participation of 27 leading managers of TIS properly chosen by the nature of the research project. A questionnaire of 15 questions was delivered: 4 related to demographic data and 11 related to leadership criteria data.

To collect the opinion of the experienced people, the Likert score was used in the answers on a scale of 1 to 5. Where:

- 1 - COMPLETE INSIGNIFICANCE
- 2 - MODERATE INSIGNIFICANCE
- 3 - INDIFFERENCE
- 4 - MODERATE IMPORTANCE
- 5 - COMPLETE IMPORTANCE

The demographics data of the selected TIS leaders are analyzed on *Table VII*.

Table VII. Demographic data of surveys

Variable	Characteristic	Absolute Value	Relative Value
Main Sector	Education	3	11,1%
	Commerce	2	7,4%
	Services	13	48,1%
	Telecommunications	4	14,8%
	Health	1	3,7%
	Financial	2	7,4%
	Tourism	0	0,0%

	Others	2	7,4%
Gender	Male	21	77,8%
	Female	6	22.2%
Studies	Engineer	4	14.8%
	Diploma course	2	7.4%
	Master Degree	20	74.1%
	PhD	1	3.7%
Age	From 25 to 35 years old	6	22.2%
	From 36 to 45 years old	16	59.2%
	From 46 to 55 years old	4	14.8%
	Over 55 years old	1	3.7%
TOTAL SURVEYED PEOPLE		**27**	**100.0%**

Analyzing the demographic results it can be seen that the percentage of leaders based on the primary sector to which they belong is higher in services by 48.1%. This shows that the services sector excels in the use of TIS. The other fact is the gender whose majority participation is by the male gender with 77.8% compared with 22.2% of the female gender. This difference may be circumstantial although it is possible that the male gender actually has greater access to technology for other aspects. The studies of the leaders reflect that most have master's level with 74.1%. Finally, there is the age of the leaders where mostly of them are found in the group of 36-45 years old by 59.2% of the participants.

Meanwhile, the support for the creation of the evaluation model through the importance of the dimensions that define the sub-criteria is evidenced by noting that the percentage of importance (Moderate + Complete) given to each of the dimensions exceeds 90% except for the dimension 2.a (*Figure 3* and *Figure 4*).

Figure 3 ilustrates the importance that the leaders give to the dimensions that define the sub-criterion of culture of excellence, where it is observed that the dimensions with "complete importance" are 1.a and 1.b. The active involvement of the leaders of TIS dominates in these dimensions and in the definitions of key strategic objectives generators of value in the organization. Otherwise, stands the percentage of "complete importance" in the other dimensions.

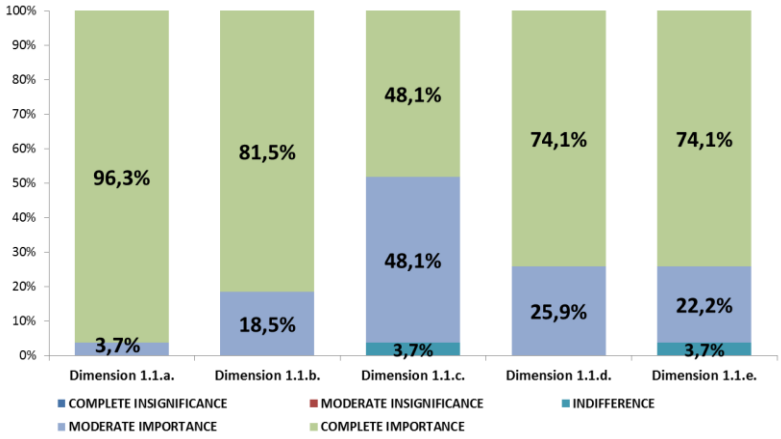


Figure 3. Level of importance of the excellence culture sub-criterion

Figure 4 presents the importance that leaders provide to the dimensions that define TIS-enterprise architecture sub-criterion where it is noted that the dimensions with "completa importancia" are the 2.c and 2.d. The monitoring and control in the delivering value in TIS organization predominates on these dimensions. On the other hand, it should be noted the variety in the level of importance that the leaders provide to the 2.a dimension. According to the expert´s opinion, the definition of GoTIS by the senior executives would have let various interpretations; for example, the participation of the CEO and shareholders that are not exactly part of the senior executives. In any case it is a matter of GoTIS experience. In conclusion, IT stands the percentage of "complete importance" in all dimensions.

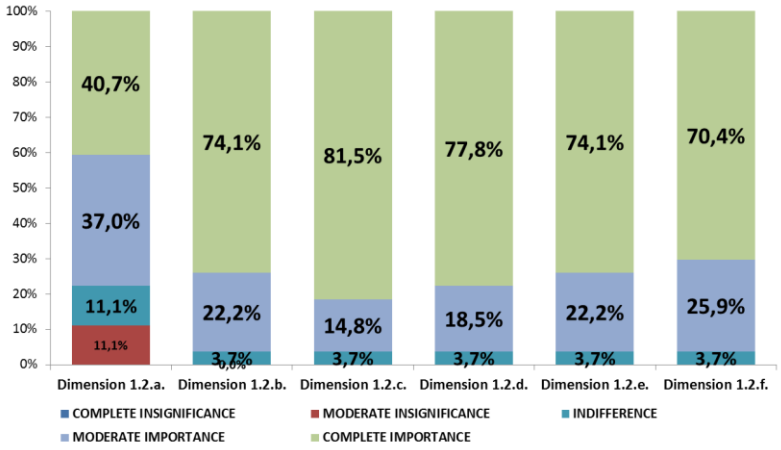


Figure 4. Level of importance of TIS-Enterprise architecture sub-criterion

With Alpha (α) of Cronbach (Cronbach, September 1951) it is determined the reliability or consistency of the results obtained in the comprehensive opinion survey. For this we proceeded with the analysis using the method of variance of the items of the questionnaire, obtaining a value of 0.885. This result is considered optimal or high reliability in view of the fact that it is close to 1 (Aragón & Sánchez, 2012), interpreted as efficiency in the test.

5. Conclusions and Future Works

The work presented in this paper was supported on related works; therefore, the premise that was used on this proposal was based on using leadership and government style as one of the quality criteria that generates effectiveness and competitiveness to an organization of TIS.

The methodology used on this paper is based on critical analysis of leadership that emphasize the assessment models and related works, which leads to the definition of two sub-criteria, eleven dimensions and five components that received suggestions from experts. Finally, the validation of the proposal took place by a group of twenty-seven leaders of TIS that are on leadership positions and/or on high-level on public and private organizations in Ecuador.

The main reflections of the work are:

- The proposal highlights the leadership and government style as a criterion of quality management with directing perspective, as it is the conception of models of excellence that supports them.
- The criterion of leadership is known for its commitment to culture of excellence, whose strategic development is supported in TIS-enterprise architecture.
- The quality of leadership is given by a set of sub-criteria and dimensions. The dimensions are evaluated by components that stand out on the importance of TIS investigated leaders.
- In general, it stands out the "complete importance" that the leaders provide to the dimensions 1.a and 1.b, with 96.3% and 81.5%, respectively. This aspect is explained in the active involvement of the leaders of TIS and in the definitions of the key strategic objectives that generate value in the organization.
- Dimensions: 1.c, 1.d and 1.e; stand out by the average percentage of 97% of "complete importance" and "moderate importance", confirming the active participation of the leaders in GoTIS commitments.
- The 2.a dimension brings up attention because of the "divided" opinions; nevertheless, it highlights the most important with 77%. This aspect may be due to the diversity of GoTIS experiences in Ecuador.
- Dimensions: 2.b, 2.c, 2.d, 2.e and 2.f show an interesting opinion on where stands out the "complete importance" of the behavior that must have the leaders through the decision making for both control and GoTIS monitoring team.
- From the point of view of the results, it is possible to evaluate the leadership not only seeing the satisfaction effect, as it is done, but also seeing the perceived value effect.

The assessment process allows getting in an orderly, systematically and consistently manner the subjective elements of the evaluators and then incorporate quantitative elements in the estimation of the value.

The work highlights the importance of expanding the set of criteria that will lead to a comprehensive solution characterized by the existence and value delivery which meet the national need and the public administration policy issued by the national government. For this reason, the next step of this research focuses on the advancement of a more complete and easy definition, based on this methodology of measurement and assessment from the perspective of direction and/or GoTIS, which will be discussed in future works.

References

Allen R., A. (2008). *Álgebra Intermedia* (Séptima ed.). México: Pearson Educación.

Aragón, A., & Sánchez, G. (2012). *Metodología de la investigación*. (Universidad de Murcia) Retrieved 2016, from https://www.youtube.com/watch?v=RvUIIIoY7w4

Bäcktröm, I., Wiklund, H., & Ingelsson, P. (2011). Learning from others to adapt quality management to the future. *Total Quality Management & Business Excellence, 22*(2), 187-196.

Benavides Velasco, C., & Quintana García, C. (2003). *Gestión del Conocimiento y Calidad Total.* Madrid: Díaz de Santos.

BNQP - Baldrige National Quality Program. (2015). *Criteria for Performance Excellence.* Retrieved from www.nist.gov

Cronbach, L. (September 1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika , 16*(3), 297-334.

Doeleman, H., Have, S., & Ahaus, K. (2012). The moderating role of leadership in the relationship between management control and business excellence. *Total Quality Management & Business Excellence, 23*(5-6), 591-611.

European Foundation for Quality Management [EFQM]. (2013). *EFQM Excellence Model.* Recuperado el 2015, de http://www.efqm.org/sites/default/files/overview_efqm_2013_v1.pdf

Fernández Martínez, A., & Llorens Largo, F. (2012). *Gobierno de las TI para las universidades.* Madrid: CRUE. Retrieved 01 22, 2014, from www.crue.org/universitic

Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad [FUNDIBEQ]. (2015). *FUNDIBEQ*. Recuperado el 2015, de http://www.fundibeq.org

González Rosas, E., Carrión García, A., & Acosta Uribe, B. (2014). Comparativa conceptual de los criterios de liderazgo en modelos de calidad total. *Congreso internacional de contaduría, administración e informática.* México D.F.

International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Comission (IEC). (2008). *ISO/IEC 38500:2008. Corporate Governance of Information Technology.* Retrieved 07 18, 2014, from http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51639

Martínez-Vilanova y Martínez, A. (2008). *Modelo de Evaluación y Diagnósis de Excelencia en la Gestión, basado en el Cuadro de Mando Integral y el Modelo EFQM de Excelencia.*

Aplicación a las Cajas Rurales. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Organización de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad, Valencia.

Merchán, V., & Rodríguez, R. (2015). Análisis de los modelos de Gobierno de Tecnologías de la Información y sus relaciones con el Modelo de Excelencia Iberoamericano. *XXI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación-CACIC 2015.* Buenos Aires - Argentina.

Merchán, V., & Rodriguez, R. (2016). Towards Value-Based Information Technology Leadership Excellence. In C. Collazos (Ed.), *IEEE 11CCC 2016.* Popayán: IEEE Colombia, 2016.

Municio, P., & Red Universitaria de Evaluación de la Calidad RUEC. (1998). *Evaluación de la Calidad de la Educación Superior. Un modelo de autoevaluación institucional.* (1 ed.). (W. K. Educación, Ed.) Madrid-España: Red Universitaria de Evaluación de la Calidad.

Nwabueze, U. (2011). Implementing TQM in healthcare: The critical leadership traits. *Total Quality Management & Business Excellence, 22*(3), 331-343.

Ooi, K.-B. (2012). The effectiveness of TQM: A simulator for knowledge distribution? *Total Quality Management & Business Excellence , 23*(5-6), 653-671.

Pérez Juste, R., López Rupérez, F., Peralta Ortiz, M., & Municio Fernández, P. (2014). Hacia una educación de calidad. Gestión, Instrumentos y Evaluación. (5ta). Madrid-España.

Pfleeger, S., & Kitchenham, B. (2001). Principles of Survey Research part 1: Turning lemons into Lemonade. *ACM SIGSOFT: Software Engineering Notes, 26*(6), 18-20.

Sánchez Peña, J. J. (2013). *Evaluación de la calidad en el ámbito del Gobierno y la Gestión de Servicios de TI.* [Tesis Doctoral inédita], Universidad de Alcalá, Ciencias de la Computación, Alcalá de Henares.

Toomey, M. (2009). Waltzing with the Elephant: Una guía exhaustiva para la dirección y el control de la tecnología de la información. (J. Pardo Martínez, Trans.) Australia: Infonomics Pty Ltd.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.77 - 91
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Implementación de una base de datos relacional difusa. Caso práctico: tutoría académica

(Implementation of a fuzzy relational database. Case study: academic tutoring)

Ciro Saguay[1], Rodrigo Proaño[2], Bolívar Jácome[3], Denisse Aguirre[4]

Resumen:
El presente artículo describe el proceso de implementación de la base de datos relacional difusa para el caso práctico de las tutorías académicas de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE).Para la implementación se utilizó como metodología la arquitectura ANSI-SPARC de bases de datos, la misma que abstrae la información en niveles, en el nivel externo se obtuvo los requerimientos funcionales, en el nivel conceptual se obtuvo el modelo relacional difuso, para lograr este modelo se realizó la transformación de los datos difusos a través de modelos matemáticos usando la herramienta Fuzzy-Lookup y en el nivel físico se implementó la base de datos relacional difusa, además se desarrolló una interfaz en lenguaje Java por medio de la cual se ingresan datos y se realizan consultas a la base de datos relacional difusa para verificar su funcionamiento.

Palabras clave: Base de datos relacional difusa; Implementación de bases de datos relacional difusa; lógica difusa.

Abstract:
This paper describes the process of implementation of a diffused relational database in the practical case of the academic tutorials of the Faculty of Engineering Sciences of the Equinoctial Technological University (UTE). For the implementation, the ANSI-SPARC database architecture was used as the methodology, which abstracts the information into levels, at the external level the functional requirements were obtained, at the conceptual level, the diffused relational model was obtained. To achieve this model, we performed the transformation of the diffuse data through mathematical models using the Fuzzy-Lookup tool and at the physical level the diffused relational database was implemented. In addition, an user interface was developed using Java through which data is entered and queries are made to the diffused relational database to verify its operation.

Keywords: Fuzzy relational data bases; Implementation of fuzzy relational data bases; fuzzy logic.

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador (csaguay@ute.edu.ec)
[2] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador (rodrigo.proano@ute.edu.ec)
[3] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador (sbolivar.jacome@ute.edu.ec)
[4] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador (carolina_aguirre87@outlook.com)

1. Introducción

En bases de datos, la lógica difusa es utilizada para extender las bases de datos relacionales (BDR) a difusas (BDRD) (Barranco, C.D., Campaña, J.R., & Medina, J.M., 2008), estas bases permiten el almacenamiento y procesamiento de datos clásicos y difusos de manera conjunta, para lo cual los datos difusos deben ser sujetos de un proceso previo de traducción o transformación para asumir grados de pertenencia en base a funciones lineales o regresión lineal, y luego ser implementados con herramientas de procesamiento de datos, estas bases de datos brindan flexibilidad a aquellas empresas o instituciones donde se manipula información imprecisa y que no puede ser considerada de manera real para cálculos matemáticos o comparaciones estadísticas debido a la escasa información numérica que proveen.

En la teoría de lógica difusa, propuesta por Zadeh en 1965 se menciona el concepto de conjuntos difusos para explicar el sentido de pertenencia de los elementos que forman parte de este tipo de conjuntos. Un conjunto difuso A es parte o subconjunto de un conjunto difuso B si cumple con la siguiente condición: $\mu A(x) \leq \mu B(X) \quad \forall x \in X$. (Pérez & León, 2007)

Para la definición de pertenencia, se establecen reglas que serán consideradas como indicadores de referencia de lo que un elemento debe cumplir para pertenecer a un concepto dado, de esta forma, es posible guiarse a través de enunciados en lenguaje natural para conocer el grado de pertenencia de cada elemento de un conjunto difuso, también se debe mencionar que, para operar posteriormente con estos elementos difusos, existen etiquetas las cuales se pueden reconocer por su tipo. (Pérez & León, 2007)

La tutoría académica de la UTE se la realiza a través de entrevistas, en la misma constan preguntas que buscan conocer detalles sobre los niveles de concentración de los estudiantes, el tiempo que consideran para la preparación de sus exámenes, la relación que tienen con los docentes de las asignaturas en conflicto, así como también temas personales de relevancia que pudieran ser causas de un mal desempeño académico (G. Bravo, 2012), obteniéndose atributos y valores imprecisos e inciertos en su mayoría, por lo que no se pueden plasmar de forma veraz y adecuada en una base de datos relacional.

El artículo describe la implementación de la base de datos relacional difusa de la tutoría académica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería e Industrias de la UTE utilizando etiquetas tipo I, a través de la herramienta Fuzzy Lookup (Network, 2016) que es parte de los servicios de integración de SQL Server (SQL Server Integration Services – SSIS), permitiendo asignar un valor de pertenencia a aquellos datos difusos en base a su naturaleza que sería considerado como el

conjunto universo. Finalmente, se desarrolla una interfaz que permite recolectar datos clásicos y difusos y permite obtener resultados que respondan a demandas difusas específicas.

2. Metodología

Para la implementación de la base de datos relacional difusa se utilizó la arquitectura ANSI/X3/SPARC (American National Standard Institute - Standards Planning And Requirements Committee), que utiliza modelos de datos en los diferentes niveles para lograr independencia (A. Silberschatz, 2002), además en cada nivel se incorporan elementos propios de las bases de datos difusas. A continuación se explica lo realizado en cada nivel.

Nivel externo.- en esta etapa a través de un estudio exploratorio y descriptivo se realizó el análisis de requisitos de información que forma parte de las tutorías académicas y que será almacenada en la base de datos relacional difusa, como resultado de esto se identificó información clásica y difusa.

Nivel conceptual.- en esta etapa se maneja la estructura conceptual de la base de datos, se identifican los elementos lógicos, tales como las entidades, sus atributos y las relaciones entre dichas entidades, además se consideró la relación existente entre datos clásicos y difusos en los tres niveles de modelamiento de datos difusos, es decir, en la lógica del negocio o la empresa, en cuanto a los datos por sí mismos como sujetos de procesamiento y en el lenguaje de consultas, para determinar si son procesados de forma tradicional o si deben pasar previamente por un proceso de traducción, que es el caso de los datos difusos.

Una vez definido la estructura de los datos y clasificarlos en clásicos y difusos, se procedió a establecer el modelo difuso establecido por GEFRED (R.M. Cicília, 2011), el cual incluye las siguientes etapas:

Etapa de Fusificación.- En esta etapa se definió las funciones de relevancia por medio de las cuales se busca establecer los grados de pertenencia a los elementos del conjunto universo.

Reglas Base.- Se establecieron las reglas por las cuales se realizaron las traducciones o transformaciones de los datos difusos para ser procesados con los datos clásicos.

Etapa de Inferencia.- Se evaluó cada uno de los conjuntos difusos y se combinó con la información definida dentro de las reglas base.

Etapa de Difusificación.- Etapa final en la cual se obtuvo los resultados de la traducción y procesamiento de los datos difusos.

Estas etapas implican el uso de métodos matemáticos para establecer los conjuntos difusos y los grados de pertenencia que corresponden a las etiquetas lingüísticas que son elementos de dichos

conjuntos, el agrupar de esta manera permite a su vez reconocer aquellas entidades difusas e integrarlas y relacionarlas según sus atributos difusos en el modelo conceptual.

Nivel interno.- una vez definido el modelo conceptual de la base de datos, se utilizó la herramienta CASE Power Designer para generar el script SQL para la implementación en el DBMS SQL Server y para la transformación de las entidades difusas se utilizó la herramienta Fuzzy Lookup del mismo DBMS, esta herramienta requiere de tablas de referencias para realizar este proceso, estas tablas se agregaron en el modelo conceptual sirviendo de catálogo de búsqueda para encontrar coincidencias entre los datos difusos que ingresan al proceso de transformación y los datos de referencia que serán ingresados en base a los grados de pertenencia calculados en el nivel conceptual.

La herramienta Fuzzy Lookup genera como resultado dos tipos de puntuaciones por cada búsqueda: Puntuación de Similitud y Puntuación de Confianza, en este caso se definió el modelo de unificación mediante relaciones de similitud para manejar de forma precisa tanto la información de entrada, es decir las demandas, como los resultados después de haber pasado por el proceso de transformación y comparación de la puntuación de similitud obtenido entre el dato difuso y las tablas de referencias.

Estas etapas implicaron el uso de la técnica de regresión lineal con el método de mínimos cuadrados para establecer los conjuntos difusos y los grados de pertenencia. (D. Anderson, 2008) El método de mínimos cuadrados es empleado para encontrar la ecuación de regresión estimada a través de datos tomados de una muestra.

Al graficar un conjunto de datos de una muestra, se obtiene un gráfico de dispersión, por lo que se aplica un método de regresión lineal para encontrar la recta que se ajuste a los datos de la muestra.

La ecuación de regresión lineal simple está dada en la siguiente expresión matemática:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i$$

Dónde:

$\hat{y}_i$= Valor estimado de grados de pertenencia.

b_0= Intersección de recta de regresión con el eje y.

b_1= Pendiente de la recta de regresión.

x_i= Definición de atributos difusos.

La definición de cada uno de los elementos de la expresión antes descrita, está dada en base al caso particular del análisis de datos difusos.

El criterio del método de mínimos cuadrados, se muestra en la siguiente expresión:

$$\mathbf{min}\,\boldsymbol{\Sigma}(\mathbf{y_i} - \widehat{\mathbf{y}_\mathbf{i}})^2$$

Dónde:

$\mathbf{y_i}$ = Valor real de la variable dependiente.

$\widehat{\mathbf{y}_\mathbf{i}}$ = Valor estimado de la variable independiente.

Al sustituir la ecuación de regresión lineal simple en la expresión matemática de mínimos cuadrados, se obtiene la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\Sigma}(\mathbf{y_i} - \mathbf{b_0} - \mathbf{b_1 x_i})^2$$

Para el desarrollo de la interfaz se basará en el ciclo de vida del modelo espiral propuesto por (Pressaman, 2010), este modelo describe el desarrollo en un corto plazo, donde el usuario final y sus requisitos se encuentran definidos, para de esta manera tener lo más pronto posible un ejecutable que pueda ser probado por el usuario final. Este modelo está compuesto por las siguientes fases:

- Análisis de interfaz
- Diseño de interfaz
- Desarrollo de interfaz
- Validación de interfaz

3. Resultados

Como parte del estudio exploratorio y descriptivo de la tutoría académica se revisó el manual interno de tutorías académicas (SITUTOR) (G. Bravo, 2012), se determinó que el proceso se inicia con la planificación de la entrevista de los estudiantes de una carrera, la información se registra en una hoja de Excel parametrizada, esta se encuentra formada por 21 preguntas referentes a la información personal del estudiante e información general sobre la carrera y las asignaturas en las cuales registra segunda y tercera matrícula. A través de 16 preguntas, se analizan aspectos que afectan el desempeño académico del estudiante, se toma en cuenta hábitos de estudio, ambiente de estudio, actividades adicionales y la relación que existe con los docentes, entendiendo por relación al estado de confianza, respeto y comprensión entre las partes durante el tiempo de clases. El análisis de conocimientos se basa en 4 preguntas fundamentales: conocimientos de informática, desenvolvimiento en internet, manejo de la plataforma o campus virtual de la UTE y conocimiento del idioma Inglés. El estudiante a través del dialogo con el tutor proporciona aspectos como nivel de comunicación, grado de responsabilidad, capacidad de trabajar en equipo y una última pregunta que permite conocer cuáles son las expectativas del estudiante con respecto a las tutorías académicas.

Del análisis realizado se identificó datos clásicos y difusos de las tutorías académicas, información parcial de estos se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Clasificación de datos clásicos y difusos (parcial)

Pregunta	**Dato**	**Tipo de dato**
¿Qué espera el estudiante de la tutoría?	Apoyo Profesores	Clásico
	Guía en trámites	
	Apoyo en las notas	
	Apoyo Personal	
	Apoyo Académico	
Relaciones Familiares	Excelente	Difuso
	Buena	
	Mala	
Relaciones Compañeros	Excelente	Difuso
	Buena	
	Mala	
Relaciones Pareja	Excelente	Difuso
	Buena	
	Mala	
	No tiene	Clásico

El universo de datos de la tutoría académica permite clasificar y englobar los datos difusos en tres conjuntos:

- Conjunto Difuso 1: Alto, medio, bajo.
- Conjunto Difuso 2: Excelente, buena, mala.
- Conjunto Difuso 3: Nada, poco, bastante, mucho.

Estos tres conjuntos de datos difusos, son procesados para obtener el modelo difuso, como ejemplo se muestra una parte del proceso en cada etapa.

Etapa de Fusificación.- la referencia del grado de pertenencia dentro del universo de datos difusos, en primera instancia se lo realizó en lenguaje natural ejemplo:

- Niveles de concentración (alto, medio, bajo)
- Relación con el docente (excelente, buena, mala)
- Análisis de conocimientos – informática, internet, plataforma, idioma inglés (nada, poco, bastante, mucho)

Reglas Base.- Cada conjunto de datos difusos fue tratado por separado para la transformación matemática, debido a que representan una escala diferente de grados de pertenencia, los cuales están dentro de un rango de [0,1]. En el caso práctico de las tutorías académicas, los conjuntos de datos difusos se encuentra definidos con un número de 3 a 4 datos por conjunto, para definir con

mayor claridad los grados de pertenencia, se procede a colocar atributos difusos intermedios entre los atributos, estos datos intermedios son representados básicamente como puntos de referencia dentro de las gráficas de dispersión y ajuste de recta bajo el criterio de mínimos cuadrados.

Etapa de Inferencia.- Dentro de las reglas base se declaró tres reglas fundamentales, que se aplican a los conjuntos de datos difusos, para tener un mejor entendimiento se utilizan gráficos de dispersión, ubicando en el eje horizontal (x) los atributos difusos, y en el eje vertical (y) los grados de pertenencia, las reglas aplicadas son:

- Regla Base 1: Transformación matemática por separado de cada conjunto de atributos difusos.
- Regla Base 2: Los grados de pertenencia a definirse deben estar dentro del rango [0,1].
- Regla Base 3: Colocar atributos difusos intermedios como puntos de referencia.

Como ejemplo se muestra la aplicación de estas reglas de inferencia al conjunto difuso 1 (Alto, medio, bajo) en la *Figura 1*.

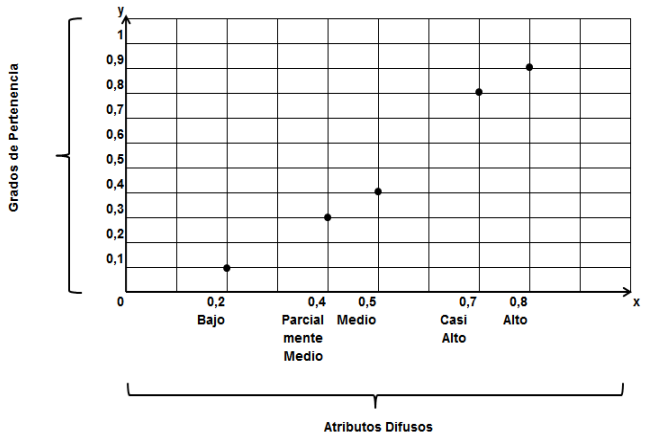


Figura 1. Inferencia Conjunto Difuso 1

Etapa de Difusificación.- Una vez estimados los grados de pertenencia de cada conjunto de atributos difusos, se inicia el procesamiento de dichos valores a través de la regresión lineal simple con el método de mínimos cuadrados. Como ejemplo los valores obtenidos para el Conjunto Difuso 1 (Alto, medio, bajo) se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Cálculo de pendiente y punto de intersección de la recta, Conjunto Difuso 1

Núm. Observación	x_i	y_i	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	0,2	0,1	-0,32	-0,4	0,128	0,1024
2	0,4	0,3	-0,12	-0,2	0,024	0,0144
3	0,5	0,4	-0,02	-0,1	0,002	0,0004
4	0,7	0,8	0,18	0,3	0,054	0,0324
5	0,8	0,9	0,28	0,4	0,112	0,0784
Totales	**2,6**	**2,5**			**0,32**	**0,228**
	Σx_i	Σy_i			$\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$\Sigma(x_i - \bar{x})^2$

La gráfica de la recta ajustada a los puntos del Conjunto Difuso 1 se muestra en la *Figura 2*.

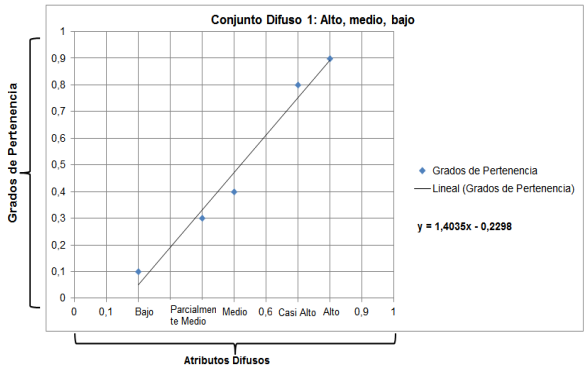


Figura 2. Recta ajustada del Conjunto Difuso 1

El modelo relacional difuso consta de 19 tablas que contienen atributos clásicos (Crisp) y atributos difusos como se indica en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Tablas que intervienen en el modelo relacional difuso

Nombre de Tabla	**Tipo atributo**
Facultad	Crisp
Carrera	Crisp
Nivel	Crisp
Paralelo	Crisp
asignatura_problema_estudiante	Crisp
docente_asignatura_problema	Crisp
relacion_docente	Crisp / Difusos
razon_problema_asignatura	Crisp
tipo_discapacidad	Crisp
discapacidad_estudiante	Crisp
Estudiante	Crisp
tipo_relaciones_conflicto_estudiante	Crisp
nivel_relaciones_conflicto_estudiante	Crisp / Difusos
tutor	Crisp
nivel_concentracion	Crisp / Difusos
tipo_cualidad_especifica	Crisp
nivel_cualidades_especificas	Crisp / Difusos
tipo_conocimiento_especifico	Crisp
nivel_conocimiento_especifico	Crisp / Difusos

Las tablas que contienen atributos clásicos (Crisp) son tratados dentro de un modelo Entidad – Relación común, mientras que las tablas que contienen atributos difusos, son sujetos de transformación a través de etiquetas lingüísticas almacenadas en lenguaje natural dentro de las respectivas tablas. El esquema final de la base de datos se presenta en la figura 3, el mismo que consta de 19 tablas con datos clásicos y difusos.

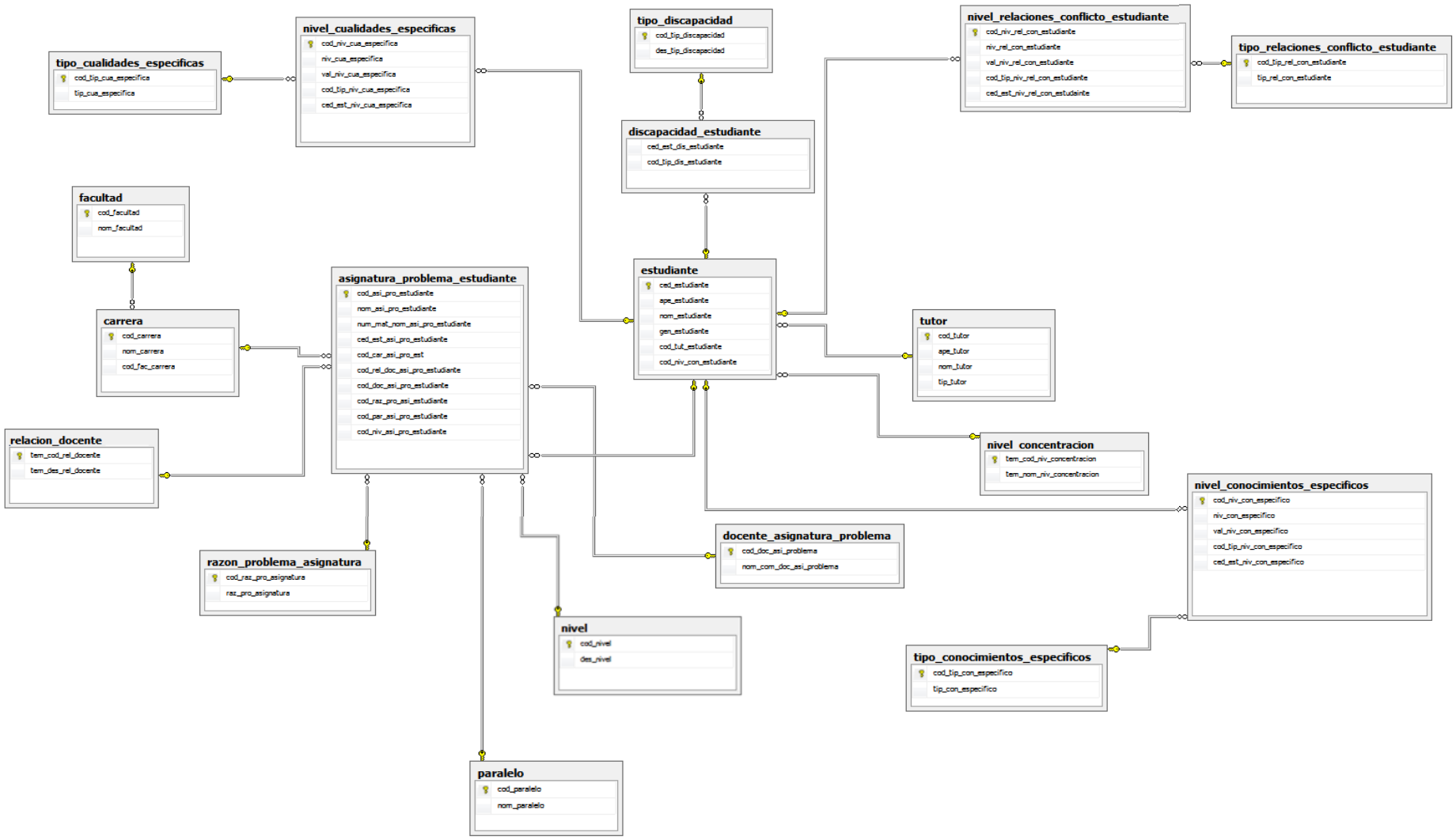


Figura 3. Modelo de base de datos

El proceso de transformación se realizó mediante la herramienta Fuzzy Lookup que es parte de los servicios de integración de SQL Server (SQL Server Integration Services – SSIS), este proceso requiere de una tabla de origen que contiene la información difusa recolectada a través de las entrevistas y la tabla de referencia que contiene los atributos difusos con sus grados de pertenencia encontrados en el proceso de transformación matemático.

Las tablas de referencia de aquellas tablas que contienen atributos difusos, se muestran en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Tablas de referencia del modelo relacional difuso

Nombre de Tabla	**Tipo de Atributos**
referencia_nivel_concentracion	Crisp / Difusos
referencia_relacion_docente	Crisp / Difusos
referencia_conocimientos_especificos	Crisp / Difusos
referencia_cualidades_especificas	Crisp / Difusos
referencia_relaciones_conflicto_estudiante	Crisp / Difusos

A continuación se muestra un ejemplo SQL para la creación de la tabla *nivel de concentración*, la misma que va a contener datos clásicos y difusos:

```
CREATE TABLE nivel_concentracion (
cod_niv_concentracion INT IDENTITY (1,1) not null PRIMARY KEY,
nom_niv_concentracion VARCHAR (50) not null,
val_niv_concentracion DECIMAL (2,2))
```

La figura 4 muestra las tablas que alojan datos clásicos y difusos, la diferencia radica en que aquellas tablas difusas, cuentan con un campo donde se registrará el valor numérico resultante de la transformación difusa de las etiquetas lingüísticas registradas en lenguaje natural, de manera provisional, este campo se registra inicialmente con el valor de cero (0.00).

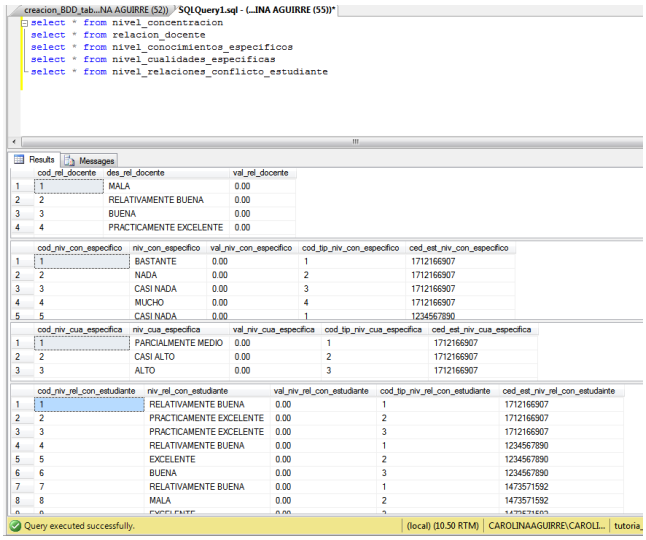


Figura 4. Estado inicial-tablas difusas

Posterior a la creación de las tablas se procedió a ingresar la información. Un ejemplo de inserción se muestra para la tabla nivel de concentración.

```
insert into referencia_nivel_concentracion values ('BAJO', 0.05)
insert into referencia_nivel_concentracion values ('MEDIO', 0.47)
insert into referencia_nivel_concentracion values ('ALTO', 0.90)
```

El flujo de transformación difusa para cada tabla que contiene atributos difusos se refleja en la *Figura 5*, las tablas de origen, pasan por una transformación difusa, derivación de columnas y ejecución de comandos SQL para finalmente desembocar en las tablas de destino que son las mismas tablas, pero internamente modificadas por la transformación.

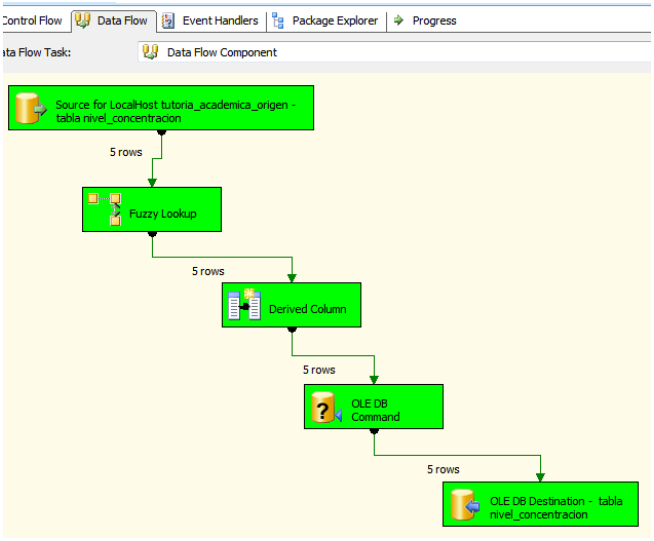


Figura 5. Flujo de transformación difusa

Posterior a la ejecución del flujo de transformación se comprueba que, los registros difusos de la base de datos ya cuentan con los valores numéricos equivalentes a las etiquetas lingüísticas, los registros que han sido transformados pueden ahora ser consultados y visualizados, con la sentencia *select* respectiva del lenguaje SQL como se muestra en la *Figura 6*.

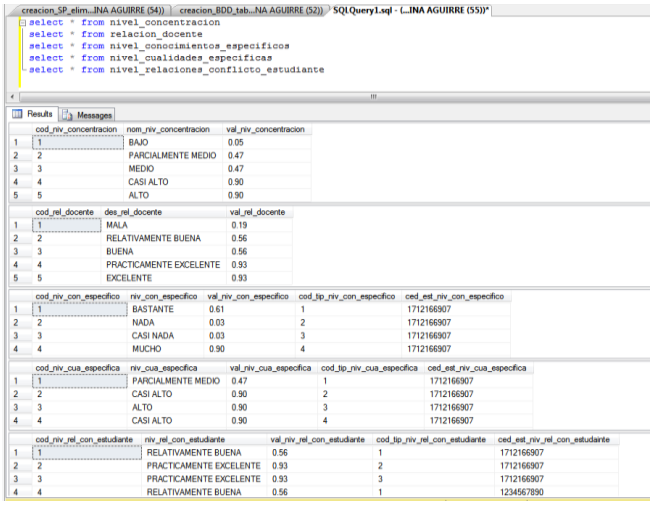


Figura 6. Comprobación de transformación difusa.

En otros sistemas gestores de bases de datos es necesario contar con un servidor FSQL (A. Urrutia, 2008) que permita a través de un lenguaje extendido realizar consultas difusas, un ejemplo de este lenguaje es la siguiente consulta:

```
SELECT *
FROM nivel_concentracion
WHERE nom_niv_concentracion FEQ $MEDIO THOLD 0.5;
```

Cada vez que sea necesario ejecutar la transformación difusa, se debe ejecutar un proceso de limpieza de atributos difusos, que consiste en "encerar" el campo de valores numéricos equivalentes a las etiquetas lingüísticas de las tablas a ser transformadas, con el objetivo de preservar la integridad de los datos difusos anteriores al integrar nuevos datos a las tablas difusas y transformar de manera global todos los datos que contenga las tablas, este proceso de limpieza consiste en ejecutar un procedimiento almacenado creado en la base de datos el cual se ejecuta directamente desde el SQLServer o desde SSIS mediante un flujo independiente a los flujos de transformación difusa, a continuación se muestra el procedimiento almacenado.

```
CREATE PROCEDURE limpiar_difusos
AS
BEGIN
UPDATE dbo.nivel_conocimientos_especificos SET val_niv_con_especifico =0
UPDATE dbo.nivel_cualidades_especificas SET val_niv_cua_especifica =0
UPDATE dbo.nivel_relaciones_conflicto_estudiante SET val_niv_rel_con_estudiante =0
END
```

Al aplicar el modelo de espiral para el desarrollo de la aplicación, se inició con el análisis de la interfaz en seis secciones, luego se procedió a diseñar las interfaces de las secciones, el diseño incluye un menú principal para guiar al usuario hacia la interfaz de ingreso de nuevas entrevistas o hacia la interfaz de consultas difusas. La *Figura 7* muestra la interfaz principal.

Figura 7. Diseño interfaz – Menú Principal

Para verificar el funcionamiento de la aplicación, se realizó pruebas ingresando varias entrevistas de estudiantes de diferentes carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, en la *Figura 8* se

puede observar una de las consultas difusas ejecutadas antes del proceso de transformación, se puede constatar que los valores numéricos de equivalencias de las etiquetas lingüísticas son cero (0.00).

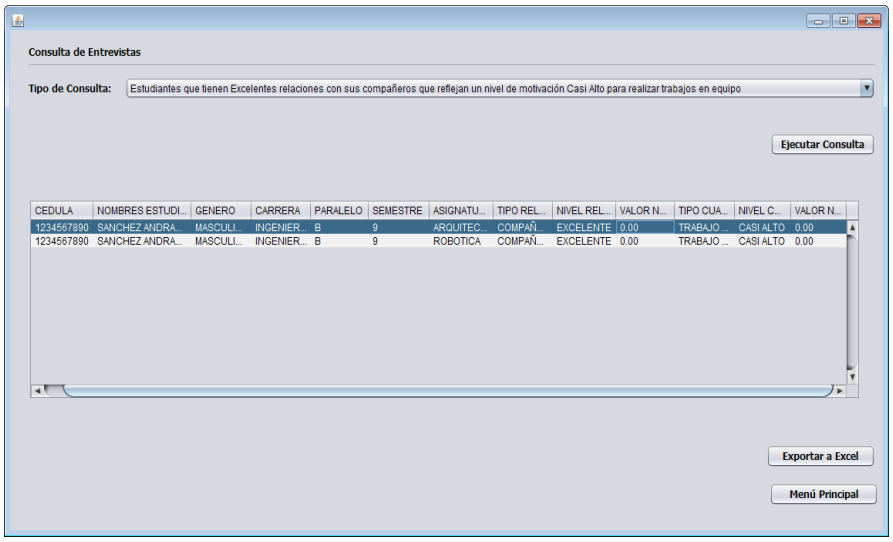


Figura 8. Consulta mediante aplicación antes de transformación difusa

Posterior al proceso de transformación, en la *Figura 9* se puede observar que la misma consulta arroja los valores resultantes de la transformación difusa, con lo cual esta información ya puede ser procesada para comparaciones numéricas o estadísticos según lo requieran la comunidad de tutores académicos.

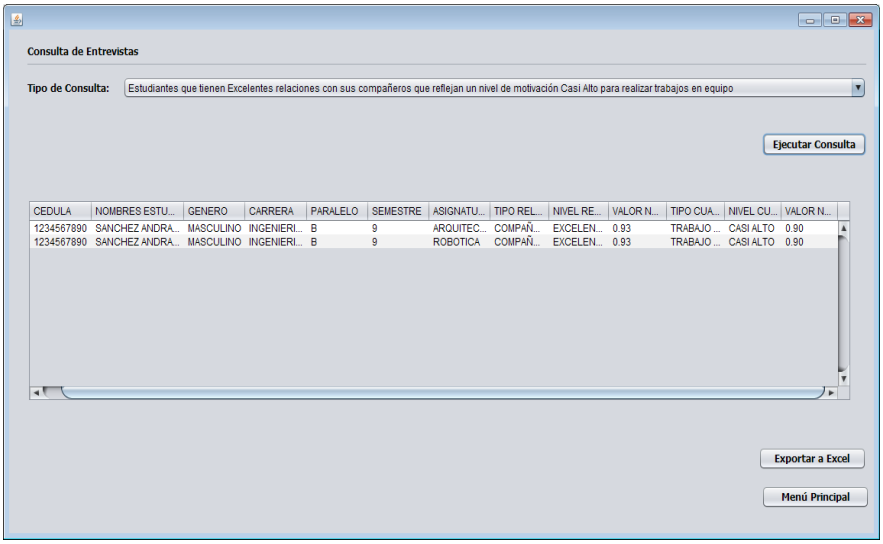


Figura 9. Consulta mediante aplicación después de transformación difusa

4. Discusión

Este trabajo ha permitido identificar atributos difusos de la base de datos de la tutoría académica, bajo un modelo relacional difuso, que permite extender el esquema tradicional de los sistemas de base de datos (objeto, atributo, valor) a la información imprecisa (en su representación) e incierta (en su consulta) con los conceptos de conjuntos difusos. El nuevo esquema, lo podemos representar como: (objeto, atributo difuso, valor), donde, los atributos difusos del modelo relacional

difuso, se encuentran clasificados en: Tipo I (valores precisos), Tipo II (valores imprecisos sobre referencial ordenado), y Tipo III (valores imprecisos sobre referencial no ordenado). Los valores, pueden ser: valores numéricos, escalares simples, etiquetas lingüísticas.

Los elementos de cada conjunto difuso, tienen un grado de pertenencia o grado de posibilidad, en SQL Server la herramienta Fuzzy Lookup permite calcular este grado, además permite traducir o transformar los datos difusos para poder procesarlos como datos clásicos, eliminando la complejidad de otros servidores FSQL que utilizan SQL extendido realizar consultas difusas.

La simulación de la imprecisión y la incertidumbre en una base de datos relacional difusa, es posible hacerlo en un sistema de información cartesiano (0 o 1), lo que implica la creación de múltiples tablas de conversión para simular el hecho que un valor se encuentra en el intervalo [0,1]

5. Conclusiones y Recomendaciones

Es necesario contar con un proceso matemático para analizar información difusa, debido a que, la mayoría de datos difusos son expresados en lenguaje natural a través de etiquetas lingüísticas, es conveniente asumir valores que representen grados de pertenencia en una escala de [0, 1] y en base a estos valores proceder con cualquier método de regresión lineal a encontrar los valores reales que sean bases en la transformación difusa

La definición del modelo de base de datos difusa, debe ser en base al DBMS que vaya a ser utilizado, ya que estos pueden basar sus transformaciones difusas en servidores FSQL o en herramientas CASE donde los resultados obtenidos tienen como fundamento umbrales de similitud, grados de confianza, distribuciones de posibilidades o únicamente grados de pertenencia de cada atributo difuso.

El sistema gestor utilizado permite analizar la información difusa en base a umbrales de similitud y grados de confianza, lo cual pone a disposición dos opciones para garantizar los resultados de las transformaciones difusas.

Al implementar el modelo de bases de datos difusos basados en puntuaciones de similitud y al definir un umbral de similitud del 50%, proveen un nivel de confianza del 0.9875, brindando la seguridad de que los atributos difusos que cumplan con esta condición puedan asumir los valores numéricos según la tendencia que tiene los atributos originales con respecto a los atributos de referencia que son la base de búsqueda en la herramienta Fuzzy Lookup.
SQL Server Integration Services – SSIS, es una herramienta muy útil que facilita el procesamiento de datos clásicos o difusos y permite integrarlos para ser sujetos de consulta o

procesamiento dentro del mismo ambiente de SQL, en SSIS es posible condensar dentro de un mismo flujo de procesos, tres actividades, automatizando en su mayoría el proceso de transformación difusa y delegando como proceso manual únicamente la ejecución de dicho flujo.

Bibliografía

A. Silberschatz, H. K. (2002). *Fundamentos de Bases de Datos.* Madrid, España: Mcgraw-Hill/Interamericana De España.

A. Urrutia, L. T. (2008). *FSQL and SQLF: Towards a standard in fuzzy database.*

Barranco, C.D., Campaña, J.R., & Medina, J.M. (2008). *Towards a Fuzzy Object-Relational Database Model*. Recuperado el 2015, de Information Science Reference: http://www.infosci-ref.com

D. Anderson, D. S. (2008). *Estadística para Administración y Economía.* México: Cengage Learning Editores.

G. Bravo, G. R. (2012). Sistema de tutoría universitaria-SITUTOR. UTE.

Network, M. D. (2016). Obtenido de Fuzzy Lookup Transformation: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms137786.aspx

Pérez, I., & León, B. (2007). *Lógica Difusa para Principiantes - Teoría y Práctica.* Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.

Pressaman. (2010). *Ingenieria de software.* mexico.

R.M. Cicília, G. L. (2011). A fuzzy model for processing and monitoring vital signs in ICU patients. *BioMedical Enginieering OnLine*, 17.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.92 - 106
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Equipos biomédicos coadyuvantes para el control de la nutrición y para el ejercicio físico de personas con diabetes

(Biomedical equipment for the control of nutrition and for the physical exercise of people with diabetes)

Mantilla Guerra Aníbal Rubén[1]

Resumen:
Con el fin de coadyuvar en el tratamiento de la diabetes, que es una de las principales causas de muerte en el Ecuador y en el mundo, se está desarrollando un Proyecto de Investigación para crear equipos que permitan el control y tratamiento efectivo de esta enfermedad. El equipo electrónico creado para el control de la nutrición, permite que el enfermo diabético cuente con la información sobre la cantidad de calorías que debe ingerir en consideración de sus actividades y su tratamiento médico. El equipo mecatrónico para el ejercicio físico de personas con pie diabético, permite aplicar terapias en función de la severidad de la afectación, considerando lo delicado y complejo que puede ser dicho tratamiento, para así, aliviar su malestar, disminuir el tiempo de recuperación, y en algunos casos incluso evitar la amputación. El equipo biomédico para el control de la nutrición ha sido completamente terminado; mientras que el equipo para el tratamiento del pie diabético se encuentra en etapas de desarrollo de prototipos y pruebas. Los dos equipos han sido concebidos y desarrollados con rigurosos métodos de ingeniería bajo estándares de calidad, por lo cual constituyen un aporte importante a la investigación, desarrollo de ciencia, tecnología e innovación.

Palabras clave: Diabetes; equipo biomédico; nutrición; pie diabético; ejercitador

Abstract:
In order to contribute to the treatment of diabetes, which is one of the main causes of death in Ecuador and in the world, a research project is being developed to create equipment that allows the effective control and treatment of this disease. The electronic equipment created for nutrition control, allows the diabetic patient to have information about the amount of calories they should ingest in consideration of their activities and their medical treatment. The mechatronic equipment for the physical exercise of people with diabetic foot, allows the application of therapies according to the severity of the affection. Considering that this is a delicate and complex treatment, the equipment helps the patients to alleviate its discomfort, to decrease the time of recovery and in some cases even to avoid amputation. The construction of the biomedical equipment for the control of nutrition is completed. While the equipment for the treatment of diabetic foot is in a stage of development of prototypes and tests. Both equipment has been conceived and developed with rigorous engineering methods and under quality standards, making an important contribution to research, development of science, technology, and innovation.

Keywords: Diabetes; biomedical equipment; nutrition; diabetic foot; exerciser

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (anibal.mantilla@ute.edu.ec)

1. Introducción

La Diabetes Mellitus es un grupo de alteraciones metabólicas que se caracteriza por hiperglucemia crónica debida a un defecto en la secreción de insulina, a un defecto en la acción de la misma o a ambas. Además de la hiperglucemia coexisten alteraciones en el metabolismo de las grasas y de las proteínas. Cuando se expresa en su plenitud, la diabetes se caracteriza por hiperglucemia en ayunas, pero la enfermedad también se reconoce en las etapas menos manifiestas, principalmente por la presencia de intolerancia a la glucosa. La hiperglucemia sostenida en el tiempo se asocia con daño, disfunción y colapso a largo plazo de varios órganos y sistemas, especialmente los ojos, los riñones, los nervios, el corazón y los vasos sanguíneos; y la ausencia de un tratamiento eficaz, podría provocar inclusive estupor, coma y hasta la muerte (Proctor, 2007, pág. 331).

La diabetes es considerada una enfermedad crónica debido a su larga evolución y progresión lenta. Sus efectos a corto y largo plazo son enormes y repercuten no solo en quien la padece, sino también en la familia, en la sociedad e inclusive en el Sistema de Salud. La prevención es la clave fundamental para evitar esta terrible enfermedad, así como sus complicaciones y consecuencias (WHO & FAO, 2003).

En la actualidad la Diabetes es una pandemia. Según datos de la OMS, es una de las 10 principales causas de muerte en el mundo. Se estima que en el período comprendido entre los años 2015 y 2040 habrá un incremento de enfermos diabéticos de hasta un 55% como se indica en la *Tabla 1* (FID, 2015, pág. 89).

Tabla 1. Cifras actuales y proyectadas de población mundial diabética en millones de habitantes entre 20 - 79 Años

Población Mundial con diabetes	Año 2015	Año 2040
20 - 64 años	320.5	441.3
65 - 79 años	94.2	200.5
Total en millones	414.7	641.8

En Ecuador, en la población comprendida entre los 20 a 79 años de edad, existen 830.100 personas diagnosticadas de diabetes y 332.300 que podrían no estar diagnosticadas, con lo cual, la cifra total de enfermos diabéticos podría alcanzar a 1,136.000 de personas. De acuerdo a las cifras de mortalidad en el Ecuador durante el año 2014, la diabetes es la primera causa de muerte de mujeres, y la segunda total a nivel nacional (INEC, 2014); como se aprecia en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Principales causas de muerte en la población del Ecuador, clasificado por enfermedad y género, año 2014

Enfermedad	Hombres	Mujeres	Total
Diabetes	2.030	2.371	4.401
Corazón	2.643	1.787	4.430
Hipertensión	1.698	1.874	3.572
Cerebrovascular	1.886	1.891	3.777

Si el total de fallecidos en el Ecuador en 365 días es de 4.401, y tomando en cuenta que el año tiene 8.760 horas, estadísticamente se puede decir que cada 2 horas muere una persona a causa de la diabetes.

Los tratamientos pueden ser muy rigurosos y además muy costosos, y posiblemente los Sistemas de Salud Pública y Privada, no están en la capacidad de tratar a todos los enfermos de diabetes, por lo que es fundamental que el enfermo diabético cuide su salud con una buena nutrición (Joslin, 2016, pág. 612) que esté adecuada a su condición médica, tratamiento y actividad física (García Yanes, 2009).

Considerando la Innovación Científica y Tecnológica como un factor indispensable para el desarrollo y bienestar de la Sociedad, se planeó la creación de equipos biomédicos inéditos, que, considerando estándares de calidad, permitan a las personas con diabetes, tener conocimiento de la ingesta calórica que necesita día a día y por tanto una nutrición, que le permita mantener control sobre sus niveles de glucosa.

Por otra parte, una complicación crónica de la diabetes mellitus es el pie diabético, enfermedad que presenta neuropatías sensitivo motoras, angiopatía, edema y afectación inmunológica casi siempre graves, cuyas consecuencias pueden ser infecciones, ulceración y gangrena que implican hospitalización o cirugía que involucra amputaciones que podrían provocar incapacidad parcial o definitiva del paciente. En numerosos estudios clínicos se ha encontrado pruebas de que la neuropatía diabética es la más común y grave de las complicaciones crónicas de pacientes diabéticos no controlados, sin embargo, es posible en cierta medida, prever y evitar dichas complicaciones, con un control estricto de la glucemia, la exploración rutinaria del pie, y la realización constante de ejercicio. Aproximadamente el 20% de los diabéticos presentará un cuadro de pie diabético, en el transcurso de su vida, de los cuales aproximadamente 20% de los casos terminará en amputación. (Jesús, 2010, págs. 73-74) . El enfermo que sufra de pie diabético, podrá con la ayuda del equipo, realizar terapias que mejoran su condición con lo cual puede aliviar su malestar, disminuir el tiempo de recuperación, y en algunos casos incluso puede evitar la amputación.

La forma en que está organizado el documento es el siguiente: etapas de desarrollo de los equipos biomédicos, resultados alcanzados, conclusiones.

1.1 Etapas de desarrollo de los equipos biomédicos

El equipo electrónico para el control de la nutrición, ha sido desarrollado en las siguientes etapas:

- Materiales y métodos : determinación del requerimiento calórico, diseño y construcción del equipo, definición del prototipo
- Diseño del hardware y software, que comprende: diseño del hardware, diseño del software, construcción del prototipo físico

Las etapas bajo la cuales ha sido desarrollado el equipo mecatrónico para el ejercicio físico de personas con diabetes, son las siguientes:

- Materiales y métodos: determinación del grado de afectación del pie diabético, tratamiento del pie diabérico, diseño y construcción del equipo, definición del prototipo
- Diseño del hardware, del software y del sistema mecánico, que comprende: diseño del hardware, diseño del software, diseño virtual del sistema mecánico

1.2 Resultados alcanzados

Una vez presentadas las etapas de desarrollo, se expone los resultados alcanzados en cada caso con su respectivo análisis. Los resultados se encuentran organizados de la siguiente manera:

- Resultado: equipo biomédico electrónico para el control de la nutrición. El usuario es el paciente diabético.
- Resultado: prototipo físico de equipo biomédico mecatrónico para el ejercicio de personas con diabetes. Su uso permitirá a los investigadores, continuar con el proceso de construcción del equipo que será para uso del paciente.

Posteriormente a la presentación de los resultados alcanzados con su respectivo análisis, se presenta las conclusiones para cada uno de los dos equipos.

2. Desarrollo de los equipos biomédicos coadyuvantes para el control de la nutrición de personas con diabetes y el tratamiento del pie diabético

2.1 Desarrollo del equipo para el control de la nutrición de personas con diabetes

2.1.1 Materiales y métodos

2.1.1.1 Determinación del requerimiento calórico

Es fundamental determinar y valorar el estado nutricional de la persona, establecer el valor nutricional de los alimentos, conocer la cantidad de calorías requeridas y que se consumen en función de la actividad, en concordancia con la medicación establecida por el médico. Todo esto orientado en base a las posibles necesidades de las personas diabéticas, según recomendaciones de médicos especialistas en el tema e información de instituciones y organismos con trascendencia mundial, como la Organización Mundial de la Salud, la International Diabetes Federation (IDF, 2015, pág. 8), y el centro médico más importante del mundo dedicado a la investigación y tratamiento de la diabetes, el Joslin Diabetes Center. Es necesario realizar el cálculo del índice de masa corporal, de la tasa metabólica basal, y el cálculo del gasto calórico. La manera de calcular estas variables, se presenta a continuación.

$$\text{IMC} = \frac{\text{Peso [Kg]}}{\text{Talla}^2[\text{m}^2]} \qquad (1)$$

Dónde; Peso: Peso de la persona en Kilogramos

Talla: Estatura de la persona en metros

La tasa metabólica basal (TMB) determina la cantidad de calorías diarias necesarias para mantener las funciones básicas del cuerpo (Lineaysalud, 2009). Su cálculo se realiza según la ecuación 2.

$$\text{TMB} = (10 \text{ x peso[Kg]}) + (6{,}25 \text{ x altura[cm]}) - (5 \text{ x edad[años]}) + \text{X} \qquad (2)$$

Siendo X igual a 5 para el caso de hombres y menos 161 para mujeres.

La ecuación de Harris Benedict (Villarino, 2016) se utiliza para estimar el metabolismo basal de una persona en función de su peso corporal, estatura y edad, es manejada en conjunto con factores de actividad física para calcular el consumo diario de calorías.

Para el cálculo de la ingesta diaria de calorías recomendada según el principio de Harris Benedict para mantener el peso actual y realizando una determinada actividad física se multiplica la TMB por una constante que varía según la intensidad del ejercicio realizado como se indica en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Ingesta diaria de calorías en función de la intensidad del ejercicio.

Ejercicio	Ingesta diaria de calorías
Poco o ningún ejercicio	TMB x 1,2
Ligero (1-3 días por semana)	TMB x 1,375
Moderado (3-5 días por semana)	TMB x 1,55
Fuerte (6-7 días por semana)	TMB x 1,725
Muy fuerte (dos veces al día)	TMB x 1,9

Un MET es la cantidad de calor emitido por una persona, en posición sedente por metro cuadrado de piel. A partir de este estado, se incrementan los MET's en medida que aumenta la intensidad de la actividad. El gasto calórico, basado en la intensidad MET's, se calcula con la ecuación 3.

$$\text{Gasto de calorías [Kcal]} = (\text{MET's x } 3{,}5 \text{ x Masa corporal [Kg]} / 200) \text{ x tiempo[minutos]} \qquad (3)$$

2.1.1.2 Diseño y construcción del equipo para el control de la nutrición

En cuanto a la tecnología de hardware y software en el mundo, ésta ha ido evolucionando de manera vertiginosa, llegando en la actualidad al punto en que es posible desarrollar dispositivos portables de altas prestaciones y de fácil manejo para el usuario. La medicina se ha visto favorecida en este caso por estos avances tecnológicos. Esto se ha aprovechado para el desarrollo del equipo biomédico para diabéticos.

Las especificaciones técnicas y de operación del equipo son las siguientes:

- Por medio de una balanza y un teclado, el usuario ingresa información que es procesada por el equipo, para recibir como resultado, información sobre las calorías que requiere para su nutrición y consumo. Adicionalmente presentará en forma gráfica, el registro histórico de glucemia y peso. Este equipo debe ser portable.
- El programa calculará el índice de masa corporal, la ingesta y consumo de calorías, en función de la valoración nutricional del paciente, tasa metabólica basal, y el cálculo de los MET's, tomando en cuenta la intensidad y duración de la actividad que realiza. El software deberá ser amigable con el usuario.
- El equipo tendrá un microcontrolador con capacidad para manejar una pantalla táctil a color, almacenar datos, y recibir señales provenientes de una balanza electrónica. Deberá contar además con un reloj en tiempo real.

2.1.1.3 Definición del prototipo

Partiendo del uso de microcontroladores, funciones e interfaces se construye prototipos básicos, que progresivamente escalados permiten elaborar el prototipo final sobre el cual se concibe el equipo para el usuario.

2.1.2 Diseño del hardware y software

Aplicando la metodología descrita, se diseñó el hardware y el software que sería embebido en él, para gestionar todos los recursos del equipo. Como resultado, se construyó un prototipo bajo especificaciones y en consideración de los requisitos de las dos normas antes mencionadas.

2.1.2.1 Diseño hardware

La balanza puede medir en un rango de 0.5g a 3Kg, la señal que la medición produce es entregada al módulo de pesaje HX711. Considerando los requisitos de las normas, se optó por utilizar una fuente de alimentación externa de DC, de 3,3 V a 5 V, un AVR XMEGA 256 D3 que trabaja a 32 MHz, una tarjeta controladora de pantalla gráfica SSD1963. La *Figura 1*, presenta los componentes del hardware y la forma en que ellos se integran para recibir información de entrada, procesarla, y presentar información al usuario. Las flechas de colores diferentes, muestran como fluyen, la energía eléctrica de alimentación, los datos, la información y las señales de control.

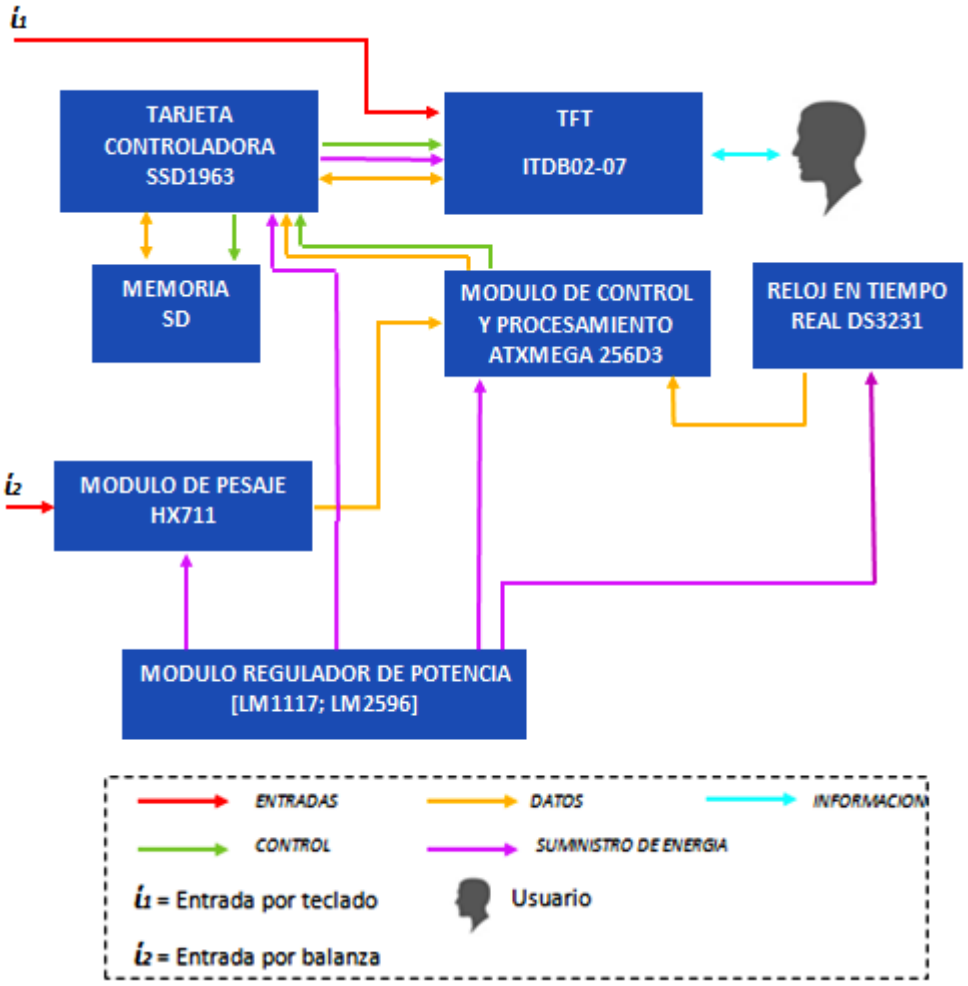


Figura 1. Diagrama de bloques de operación e integración del hardware – equipo para el control de la nutrición

2.1.2.2 Diseño del software

Se utilizó el lenguaje de programación BASCOM, en el IDE ATMEL STUDIO 4.0, porque este lenguaje posee numerosas y potentes herramientas para el manejo de una pantalla de cristal líquido táctil.

MCS electronics, recomienda BASCOM para la programación del microcontrolador XMEGA 256 D3, razón por la cual se escogió este lenguaje.

El software se diseñó considerando que el microcontrolador debe gestionar todos los recursos de hardware, para adquisición, almacenamiento y manejo de datos, realizar cálculos y presentar información. La *Figura 2*, muestra el diagrama de flujo diseñado para el software del equipo. Para el diseño de varias interfaces graficas se utilizó Paint, InfoPath Designer. Estas interfaces se encuentran grabadas en la memoria SD, el formato de imagen debe ser BMP de 24 bits, que es el formato que reconoce el controlador. Una vez encendido el equipo debe ejecutarse un programa

principal que invoca a diferentes funciones, dependiendo de la opción que escoge el usuario. La variedad de opciones es la siguiente:

- Ingreso de datos vitales.
- Selección del consumo de alimentos.
- Ingreso de datos de glucemia y peso.
- Presentación del historial de glucemia y peso.
- Presentación de resultados.

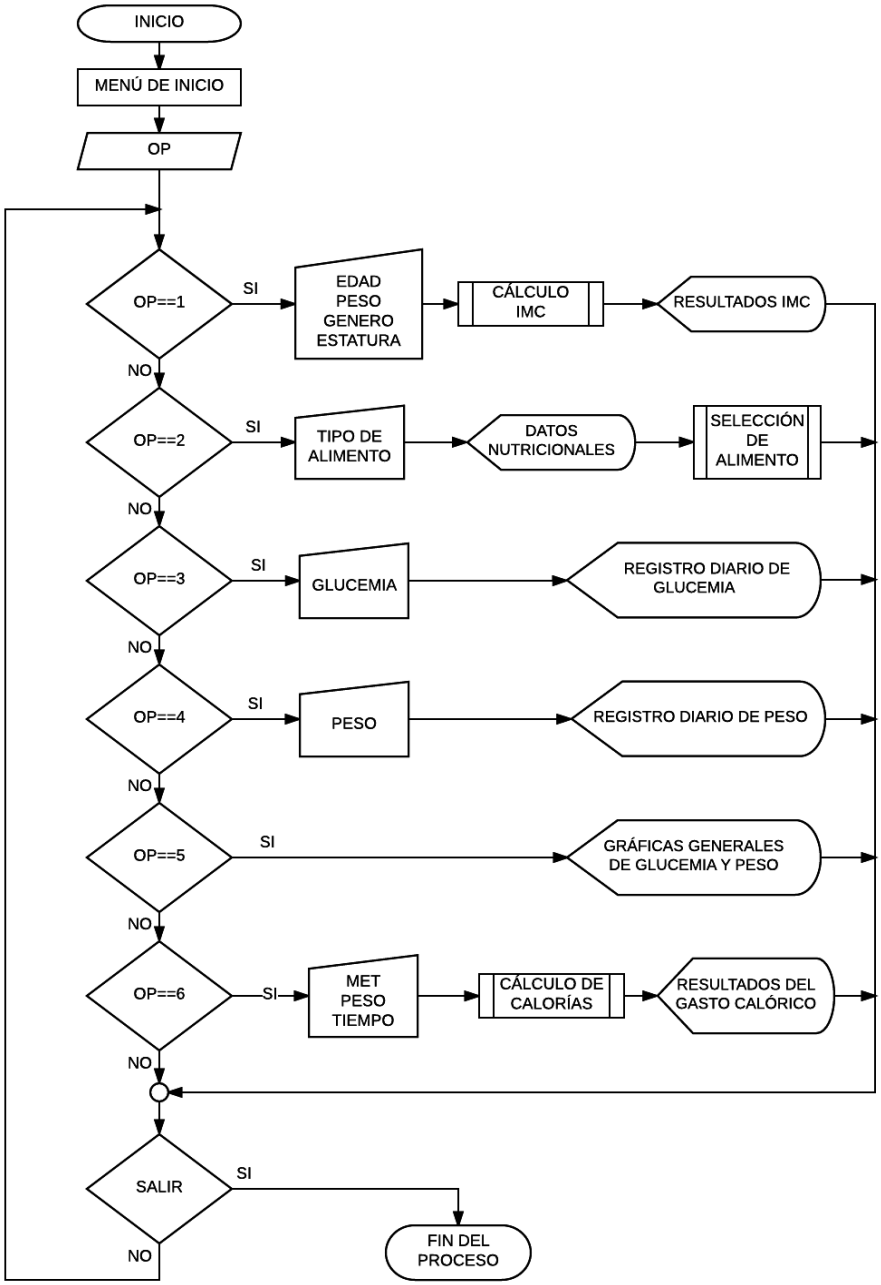


Figura 2. Diagrama de flujo de la operación general del equipo biomédico para control de la nutrición

2.1.2.3 Construcción del prototipo

Para llegar a construir el prototipo definitivo con microcontrolador AVR XMEGA 256D3 y pantalla táctil de 7 pulgadas, fue necesario escalar los prototipos previos basados en microcontroladores xmega64, xmega192, y pantalla de 4,3 pulgadas. La precisión de la balanza es de 1%. En la *Figura 3* se observa el prototipo.

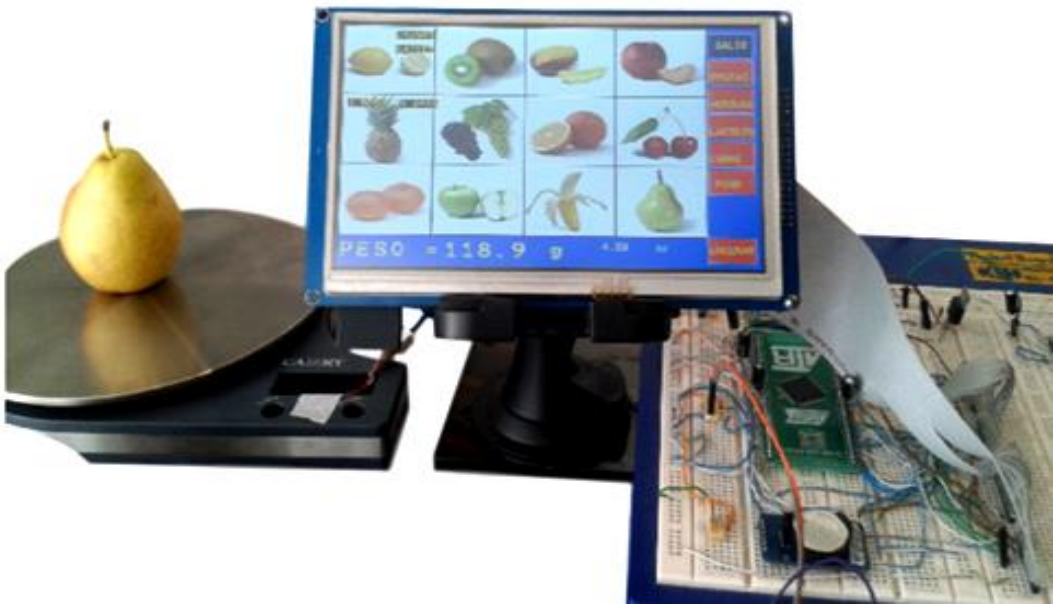


Figura 3. Componentes constitutivos del prototipo de equipo biomédico para el control de la nutrición

El tiempo de barrido de pantalla va de 1 segundo cuando se presenta cada interface, a 2 segundos cuando se toma datos desde la balanza. Se comprobó la capacidad del equipo para recibir, procesar y presentar información de acuerdo al diseño.

2.2 Desarrollo del equipo para el ejercicio físico de personas con diabetes

2.2.1. Materiales y métodos

2.2.1.1 Determinación del grado de afectación del pie diabético

Los grados de afectación son evaluados y determinados por medio de escalas médicas; una de las más utilizadas a nivel global es la escala de Wagner: En esta escala, las afecciones son clasificadas por grados dependiendo del nivel de severidad. Esta escala puede apreciarse en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Determinación del grado de afectación según la escala de Wagner

Determinación del grado de afectación según la escala de Wagner	
Grado 0	Pie en riesgo presenta celulitis con piel intacta.
Grado 1	Ulcera superficial.
Grado 2	Ulcera profunda.
Grado 3	Absceso profundo y generación de Osteomielitis
Grado 4	Aparición de gangrena en determinadas partes del pie como dedos o falanges
Grado 5	Gangrena en todo o gran parte del pie.

2.2.1.2 Tratamiento del pie diabético

Existen diferentes métodos para tratar al pie diabético, dependiendo del grado de severidad en la afectación y del criterio médico. El equipo en desarrollo ayuda al movimiento del pie, para favorecer una mayor circulación sanguínea. Existe la posibilidad de que al paciente le cueste mucho mover el pie ya sea por traumas de dolor derivados de la neuropatía diabética o por complicaciones derivadas de edemas, úlceras e isquemia que produce necrosis en los tejidos.

2.2.1.3 Diseño y construcción del equipo

Para el diseño y construcción se utilizó especificaciones propias de los métodos para el tratamiento del pie diabético, la facilidad de uso, minimización de riesgos de accidente o lesión para el usuario.

Las especificaciones técnicas del equipo son las siguientes:

- Capacidad de movimiento con tres grados de libertad
- Posibilidad de escoger diferentes secuencias de movimiento, las cuales servirán como las terapias coadyuvantes en el tratamiento integral. La ejecución de las secuencias será por medio del comando de máquinas eléctricas y mecanismos.
- Facilidad de uso con interfaz gráfica en pantalla táctil
- Velocidad de respuesta electrónica del sistema microprocesador equivalente al menos a la frecuencia de 20 MHz
- Velocidad de respuesta mecánica, equivalente a un tiempo de respuesta en el orden de los milisegundos, con precisión y suavidad en el arranque, marcha y detención del movimiento de los mecanismos

2.2.1.4 Definición del prototipo

Se hace uso de diferentes tarjetas electrónicas microprocesadas, pantallas táctiles y servomotores, para crear el prototipo del sistema hardware – software. Se crea prototipos virtuales y físicos para analizar el cumplimiento de especificaciones mecánicas. Con la integración de

sistemas, se creará un prototipo mecatrónico a escala reducida para realizar pruebas. Con esto se podrá construir el equipo que utilizará el enfermo de pie diabético.

2.2.2. Diseño del hardware, del software y del sistema mecánico

Se aplica la metodología establecida para diseñar cada subsistema del equipo en función de las especificaciones técnicas resultado de los requerimientos.

2.2.2.1 Diseño del hardware

El equipo posee una interfaz gráfica en pantalla táctil color de 5 pulgadas que permite al usuario dar las instrucciones necesarias para que este funcione de acuerdo a su requerimiento médico. La unidad de control implementada en una tarjeta microprocesador envía señales de control a los actuadores para que el mecanismo proporcione los movimientos requeridos. En *Figura 4*, se puede apreciar la forma en que se integran los componentes y la dirección del flujo de información, señales de control y suministro de energía electica.

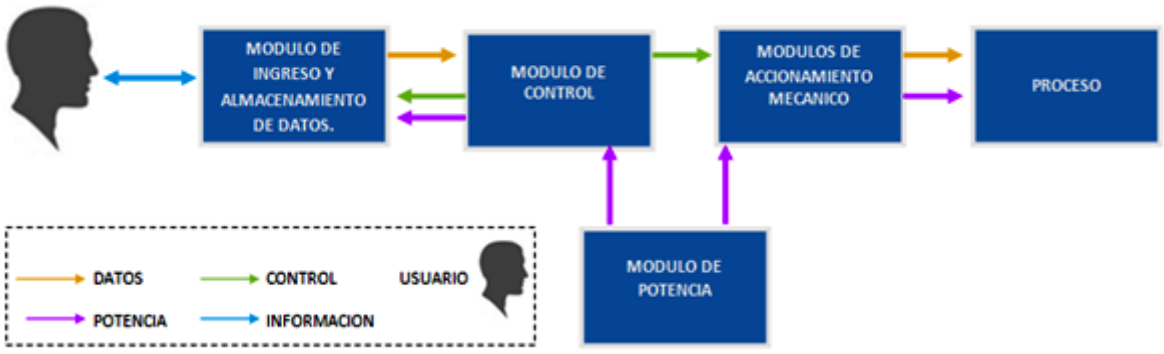


Figura 4. Diagrama de bloques de operación e integración de los componentes – equipo para el ejercicio físico de personas diabéticas

2.2.2.2 Diseño del software

El usuario puede seleccionar alguna de las secuencias establecidas de movimiento por el profesional médico, y establecer el tiempo que realizará la terapia. A continuación, en la *Figura 5* se presenta el diagrama de flujo de las operaciones del software.

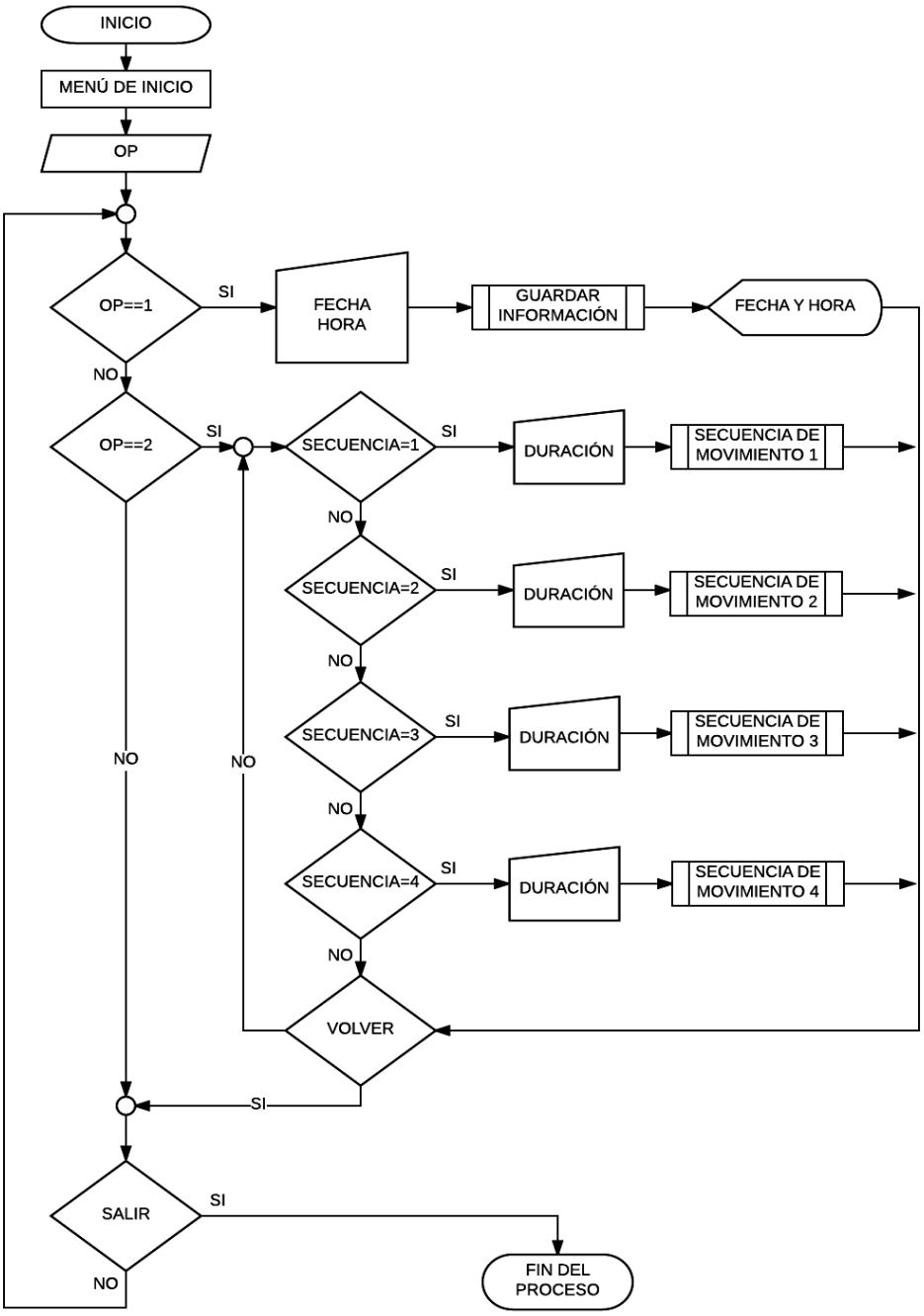


Figura 5. Diagrama de flujo del software – equipo para el ejercicio físico de personas diabéticas

2.2.2.3 Diseño virtual del sistema mecánico

Con el uso de SolidWorks, se analizó diversos prototipos virtuales hasta obtener aquel que satisfacía las especificaciones de diseño previstas. En la *Figura 6*, se presenta el mecanismo virtual que cumple con los tres movimientos de carácter terapéutico, sujetos a los tres grados de libertad de tipo rotacional.

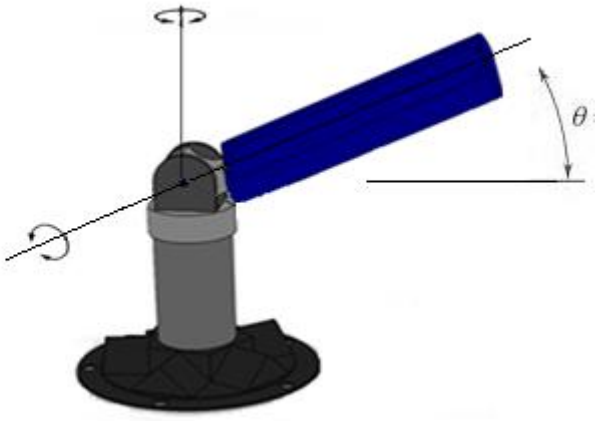


Figura 6. Prototipo virtual del componente mecánico para el equipo ejercitador de extremidades inferiores de personas con diabetes

3. Resultados y análisis

3.1 Equipo para el control de la nutrición de personas con diabetes

Una vez realizadas satisfactoriamente las pruebas en el prototipo, se procedió a la construcción del equipo. En la *Figura 7* puede observarse el equipo biomédico diseñado y construido, una vez que fue terminado. Los puertos de energización y comunicación se encuentran en el costado lateral izquierdo, el ángulo de inclinación de la pantalla considera aspectos ergonómico, la base es amplia y soporta adecuadamente el peso del equipo electrónico desarrollado. Este equipo será utilizado por el enfermo diabético.

Figura 7. Equipo biomédico coadyuvante para control de la nutrición

El planteamiento y desarrollo del equipo fue validado con la aplicación a un caso de estudio de un paciente diabético. El lapso de tiempo escogido para la presentación de datos glucémicos del paciente, fue de un mes, ya que en este período se pudo determinar la capacidad del mismo, para el manejo y control de su enfermedad.

3.2 Equipo para el ejercicio físico de personas con diabetes

El correcto funcionamiento de los sistemas de hardware y software, unido al análisis de la simulación virtual, permitió construir el prototipo físico del sistema mecánico, que al ser integrado a los dos anteriores, dio como resultado el prototipo esperado de equipo biomédico para el tratamiento del pie diabético. En este equipo se realizan pruebas con especificaciones médicas y estándares de calidad que harán posible construir el equipo para la realización de ejercicio físico. En la *Figura 8* puede observarse el prototipo físico con sus componentes, organizados en correspondencia con el diagrama de bloques presentado en la *Figura 4*.

Figura 8. Prototipo físico del equipo biomédico para el ejercicio de personas con diabetes

4. Conclusiones

4.1 Equipo biomédico para el control de la nutrición de personas con diabetes

- Se cumplió el objetivo de crear un equipo biomédico inédito coadyuvante para el control de la nutrición de personas diabéticas.
- La metodología utilizada fue adecuada para el cumplimiento del objetivo previsto, es decir, el diseño, la construcción del prototipo, y finalmente, la realización del equipo biomédico terminado, para el uso de personas con diabetes.

4.2 Equipo biomédico para el ejercicio físico de personas con diabetes

- La metodología y los estándares de calidad que guiaron este trabajo hicieron posible crear un prototipo inédito, válido para continuar con la investigación, análisis y pruebas para el desarrollo exitoso de un equipo coadyuvante en el tratamiento del pie diabético, con lo cual se cumple el objetivo previsto del desarrollo del prototipo.

- La utilización de hardware, software, materiales y otros dispositivos de alta tecnología, como son el caso de impresoras 3D, permitieron crear un prototipo de alta calidad.

Bibliografía

FID. (2015). *Atlas de la Diabetes de la FID* (7ma ed.). Bruselas, Bélgica. Obtenido de http://www.diabetesatlas.org/resources/2015-atlas.html

García Yanes, J. (2009). Tesis Doctoral. *Relación entre el índice glucémico, carga glucémica y fibra con la resistencia a la insulina en la población canaria.* Tenerife, España.

IDF. (19 de Octubre de 2015). *International Diabetes Federation.* Obtenido de http://www.idf.org/who-we-are

INEC. (27 de Octubre de 2014). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/

Jesús, F. R. (2010). *Pie Diabetico Atencion Integral.* Mexico,D.F: Mc Graw Hill.

Joslin. (10 de Julio de 2016). *Diabetes and nutrition*. Obtenido de http://www.joslin.org/info/how_does_fiber_affect_blood_glucose_levels.html

Lineaysalud. (2009). Obtenido de http://www.lineaysalud.com/que-es/metabolismo-basal

Proctor, J. E. (2007). *Diabetes Mellitus.* Barcelona: Lippincott Williams Wilkins.

Villarino. (09 de Octubre de 2016). *Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación*. Obtenido de http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/antropometria/METABOLISMO%20ENERGETICO.VILLARINO.pdf

WHO, & FAO. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. *WHO Technical report series 916*, 1-160.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.107 - 121
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Ecu@Risk, Una metodología para la gestión de Riesgos aplicada a las MPYMEs

(ECU@Risk, a methodology for risk management applied to MSMEs)

Esteban Crespo Martínez[1]

Resumen:
La información es el elemento más valioso para cualquier organización o persona en este nuevo siglo, la cual, para muchas de ellas, es un instrumento para crear ventaja competitiva (Vásquez & Gabalán, 2015). Sin embargo, pese a la falta de conocimiento sobre cómo protegerla adecuadamente, o a la complejidad de las normas internacionales que indican los procedimientos para lograr un adecuado nivel de protección, muchas organizaciones, en especial el sector MPYME, no logra alcanzar este objetivo.
Por lo tanto, este estudio propone una metodología de seguridad de la información para la gestión del riesgo informático aplicable al entorno empresarial y organizacional del sector MPYME ecuatoriano. Para el efecto, se analizan comparativamente varias metodologías de amplia divulgación, como: Magerit, CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method), OCTAVE-S, Microsoft Risk Guide, COBIT 5 y COSO III. Estas metodologías son internacionalmente utilizadas en la gestión del riesgo de información; a la luz de los marcos de referencia de la industria: ISO 27001, 27002, 27005 y 31000.

Palabras clave: riesgos, gestión, ECU@Risk, Seguridad de la Información.

Abstract:
Information is the most valuable element for any organization or person in this new century, which, for many companies, is a competitive advantage asset (Vásquez & Gabalán, 2015). However, despite the lack of knowledge about how to protect it properly or the complexity of international standards that indicate procedures to achieve an adequate level of protection, many organizations, especially the MSMEs sector, fails to achieve this goal.
Therefore, this study proposes a methodology for information security risk management, which is applicable to the business and organizational environment of the Ecuadorian MSME sector. For this purpose, we analyze several methodologies as Magerit, CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method), OCTAVE-S, Microsoft Risk Guide, COBIT 5 COSO III. These methodologies are internationally used in risk management of information; in the light of the frameworks of the industry: ISO 27001, 27002, 27005 and 31000.

Keywords: Risk, management, ECU@Risk, Information Security.

[1] Universidad del Azuay, Cuenca – Ecuador (ecrespo@uazuay.edu.ec)

1. Introducción

Desde tiempos inmemoriales, tener la información justa en el momento oportuno ha significado 'poder' y solamente las personas o grupos de personas que se podían permitir financiar ese intercambio de información disfrutaron de ese privilegio. Si partimos de un concepto generalmente aceptado de que "la información es poder", frase que se atribuye a Francis Bacon- quien posee la capacidad de control no es quien sabe dónde encontrar determinado dato, antecedente, fuente o material, sino más bien quien sabe cómo usar aquello que encontró. Esto genera la búsqueda de habilidades para manejar la información, muchas veces para aprovecharse de ella, con diversas motivaciones, muchas veces con fines de tendencia negativa, generando riesgo con diferentes niveles de impacto por lo que es crucial protegerla pues constituye uno de los activos más importantes de una organización.

Para efecto de su gestión en las organizaciones, se emplea el concepto de Inteligencia de Negocios, un conjunto de herramientas y servicios que permiten a los usuarios acceder y analizar de manera rápida y sencilla, a la información para la toma de decisiones de negocio a nivel operativo, táctico y estratégico; considerando: que los datos son elementos constitutivos del conocimiento, que la información es una interpretación de ellos basada en un cambio de las condiciones y en el paso del tiempo, la que incluye patrones, relaciones y significado a los datos y que el conocimiento: es la información organizada dentro de un marco conceptual que nos permite comprender nuestro entorno, mejorar la capacidad para resolver problemas y tomar decisiones. Consecuentemente su desarrollo se transforma en un activo de alto valor implícito y explicito que incide en la economía de una organización por lo que se requieren niveles adecuados para su protección.

La Seguridad de la Información se basa en tres principios fundamentales: i) la integridad que hace referencia a que la información debe estar libre de alteraciones o modificaciones no planificadas (Gómez, 2011), ii) la disponibilidad que indica que la información debe ser utilizable cuando se la requiera (Gómez, 2011), y iii) la confidencial porque solo debe ser accedida por los que lo requieren (Gómez, 2011). La mala administración, o la carencia de un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI) en una organización, puede conllevar a un efecto llamado riesgo operativo (Calderón, Estrella, & Flores, 2011).

El riesgo operativo consiste en la posibilidad de que se produzcan pérdidas debido a los eventos originados, ya sea por fallas en procesos, personas, sistemas internos, tecnología, o por eventos externos imprevistos (Superintendencia de Bancos y Seguros, 2011), por lo que el acceso a la información deberá ser correctamente controlado, otorgando permisos a quienes tengan autorización de los propietarios de la información. Consecuentemente se requiere de una adecuada gestión de los perfiles de usuario y el acceso a la misma.

Mediante un proceso de indagación exploratoria realizada, no se ubica organización, institución o empresa ecuatoriana que haya emprendido en la tarea del desarrollo de una metodología para la gestión del Riesgo de Información que considere la realidad nacional en el entorno MPYME. Las Instituciones de control se han limitado a solicitar la implementación de prácticas internacionales, que muchas veces ni las grandes empresas logran cumplir, debido a la cantidad de parámetros y procedimientos exigidos por las normas.

Las MPYMES, en general, están inmersas en un eminente entorno de riesgo, ya sea a nivel nacional por la inestabilidad política y/o económica; o regional debido a las condiciones naturales en las que se asienta cada ciudad, a más de que consideran que la informática es solamente un área de soporte, y que la inversión en elementos y mecanismos de seguridad convergen solamente en una solución antivirus. El desconocimiento, la exigencia y extensión de las normas, ayudan a que el concepto de gestión de riesgo informático quede como un mito empresarial. Con la finalidad de comprobar esta hipótesis, y, como validación, se realizó, mediante el modelo cualitativo de investigación por conveniencia, un estudio a 50 empresas del sector MPYME en este país, obteniendo como resultado que, muy pocas gestionan el riesgo de información, y aquellas que lo hacen, la desarrollan, de forma elemental.

Como comprobación adicional se procede a la caracterización de las MPYMES de la región austral del Ecuador en relación con las TI y la seguridad de la información, para obtener una base coherente que permita, a este trabajo de investigación, como objetivo, proponer una metodología para la Gestión del Riesgo Informático, que consienta aplicarse, inicialmente, al entorno ecuatoriano, proporcionando directrices para i) identificar el contexto organizacional, ii) identificar y registrar los activos de información, iii) identificar y valorar los riesgos y amenazas físicas, de entorno, y lógicas, iv) directrices para el desarrollo de contramedidas y políticas de seguridad.

Para efecto de una adecuada sustentación teórica, fue importante realizar el análisis comparativo entre las metodologías Magerit V3, Microsoft Risk Management, Octave-S y CRAMM, metodologías internacionales utilizadas en el análisis y gestión de riesgo informático, en base a mecanismos de identificación de activos, identificación de vulnerabilidades, funciones de probabilidad, variable de medición de riesgo, y cálculo de riesgo; además de incluir un estudio de los aspectos de regulación local, nacional, internacional y las normas que tratan el riesgo; agregando además, el estudio de los marcos de gestión COBIT 5 y COSO III, y las normas internacionales ISO 27001, ISO 27002, ISO 27003, e ISO 27005.

Considerando que todos estos elementos permiten la realización de una adecuada investigación y propuesta de solución, se la ha organizado de la siguiente manera:

1. el apartado dos verifica la metodología utilizada en la investigación haciendo referencia al análisis de la situación actual de las MPYMEs en el Ecuador en relación al riesgo informático,

2. en la sección tres se presentan los resultados obtenidos a la investigación aplicada a las MPYMEs analizadas,
3. en el apartado cuatro, como tema principal, se explica la metodología Ecu@RISK, como propuesta de una herramienta para la gestión del riesgo de información,
4. en el apartado cinco se expone la discusión a esta investigación,
5. en el apartado seis, se incluyen las conclusiones y trabajos futuros,
6. en el apartado siete se considera la bibliografía utilizada en este trabajo.

2. Metodología

Partiendo de lo conceptual, el término MPYME hace referencia a las micro, pequeñas y medianas empresas, concepto que según Vásquez y López (Vásquez & López, 2016), citando a Muñoz (Muñoz, 2012), en el Ecuador está clasificado de la siguiente manera:

> 1. La microempresa, que es una entidad con escasos ingresos y está compuesta por un número de empleados igual o menor a 10 personas, con un volumen anual de negocio que no supera los 20 mil dólares (Vásquez & López, 2016).
>
> 2. La pequeña empresa, que es una entidad independiente, creada para generar rentabilidad, con un número de empleados inferior a 50 personas y con volúmenes entre los 20 mil y 120 mil dólares (Vásquez & López, 2016).
>
> 3. La mediana Empresa, caracterizada por el capital suministrado por sus propietarios, y un tamaño relativamente pequeño dentro del sector en el que se desarrolla, albergando entre 50 a 99 empleados, y su capital fijo no sobrepasa los 120 mil dólares (Vásquez & López, 2016).

En una rueda de prensa, el especialista de seguridad informática, Dimitry Bestuzhev mencionó que “A pesar de que se han hecho esfuerzos, en Ecuador, todavía no se trabaja en seguridad de manera sistemática con políticas definidas. El Gobierno no tiene un plan de acciones para todas las entidades del país. Muchas veces es el propietario o el administrador del sitio web el que decide qué hacer para que este sea seguro, por ello Ecuador llega a ser un blanco fácil de los atacantes.” (Delgado, 2014).

La ley Orgánica de transparencia y acceso a la información pública, según (Jaramillo Palacios, 2014), garantiza el derecho de acceder a las fuentes de información, además de ser un mecanismo para ejercer la participación democrática respecto del manejo de la cosa pública y la redición de cuentas, y que la información confidencial está excluida del principio de publicidad. También menciona sobre la creación de. la Ley del Sistema Nacional de Registro de Datos Públicos - SINARDAP, cuya finalidad es proteger los derechos constituidos, además de regular los mensajes de datos, la firma electrónica, los servicios de certificación, la contratación electrónica, el comercio electrónico, y la protección a los usuarios de estos sistemas.

Entidades de control como la Superintendencia de Bancos y Seguros a través de sus disposiciones, han definido resoluciones que exigen un control en la calidad de información, confiabilidad en la ejecución de transacciones, y políticas y procedimientos para el monitoreo de los niveles de seguridad en hardware, software y redes de comunicaciones; lo que claramente evidencia la preocupación por integrar e incorporar mecanismos que protejan la información confidencial de los clientes, que muchas veces es accedida por el personal de desarrollo de sistemas, elevando el riesgo de manipulación o hurto de la misma; agregando además que se debe dejar evidencia de cualquier acceso o modificación a la información, lo que conlleva a que la metodología para la gestión de riesgos a proponer, considere aspectos que permitan a las entidades de control, evaluar los procedimientos y actividades contempladas en la misma; o bien, estar alineada a una metodología internacional como COBIT, que, entre uno de sus dominios, permite lograr este objetivo.

Una metodología debe estar enmarcada en un referente legal. En Ecuador, la Ley Orgánica de Protección de Datos establece que se garantizará el derecho de protección de los datos personales y su gestión. Los datos personales deben ser correctos, completos, actualizados y relevantes, para la actividad en la cual serán utilizados (García Falconí, 2011).

Para determinar la situación de las empresas frente al riesgo, se ha empleado el método no probabilístico de muestreo por conveniencia, que se trata de una técnica de tipo cualitativo donde los sujetos son seleccionados dada la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador, y que eS comúnmente utilizada mediante la selección de una muestra de una población que sea accesible, es decir, que se seleccionan porque están fácilmente disponibles y no necesariamente que se lo efectúe bajo un criterio estadístico que considere un método probabilístico de orden cuantitativo; lo que posibilita la generalización a sujetos similares (Bernal, 2006). Así, se ha considerado el siguiente grupo MPYME, en un estudio realizado a 50 instituciones de este sector donde el autor de este trabajo tiene acceso, las mismas que se encuentran distribuidas según lo enseña la *Figura 1*:

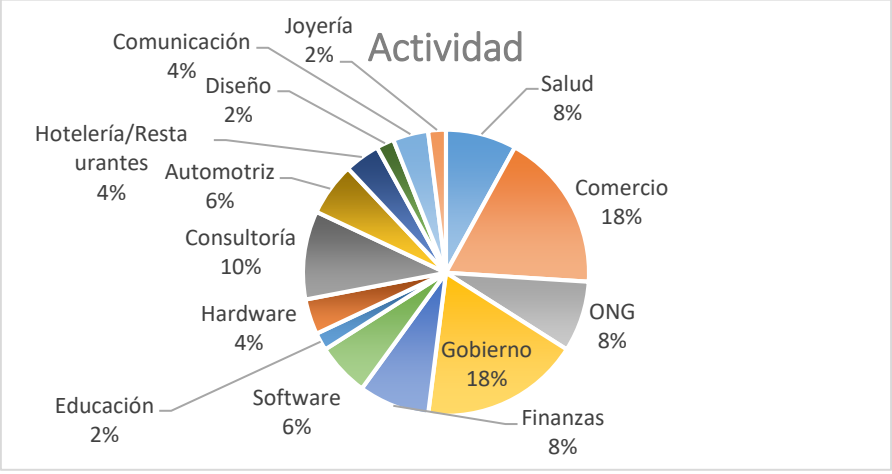


Figura 1: Sector de actividad económica. Fuente: Resultado de la Investigación.

Para la muestra por conveniencia se han tomado como criterio principal, la localidad, la capacidad de gestión, tamaño e importancia de la unidad productiva y la significación de su magnitud de riesgos en términos de importancia y magnitud de operaciones (Bernal, 2006).

3. Resultados

En la aplicación de las herramientas muestrales, una de las preguntas realizadas estuvo relacionada con el mantener un inventario de los activos de información. Solo un 4% de los entrevistados sostuvieron que cuentan con un inventario de los activos de información, aunque no se encuentra del todo actualizado.

Las razones por las que las empresas que no cuentan con un plan de gestión de riesgo formal, representadas en la *Figura 2*, se resumen en el desconocimiento del proceso de gestión de riesgos, en la falta de presupuesto, y en la complejidad que presentan las normas ISO.

Figura 2: Razones por las que no se adopta un modelo de gestión de riesgo de información

El 100% cuenta con prácticas de respaldo de información, sin embargo, solo un 42% los realiza bajo procedimientos formales, y únicamente el 24% de las organizaciones del sector MPYME tienen identificadas, formalmente, las áreas físicas sensibles; es decir, espacios en los que la información debe ser gestionada con niveles de seguridad superiores.

En cuanto a planes para protección de los recursos humanos, se puede evidenciar que no existen procedimientos formales para llevar a cabo la evacuación de un edificio en caso de un incidente. Así, solamente un 14% de los entrevistados saben, formalmente, que hacer. (Crespo, 2016)

Los análisis de estos y otros elementos permiten determinar una falencia real que no está siendo cubierta en relación con el riesgo de información, lo que nos lleva a pensar en la validez de la hipótesis planteada en el sentido de que ECU@Risk, puede constituir una metodología adecuada para el sector MYPYME.

4. ECU@Risk

ECU@Risk, como se ha llamado a la metodología para la gestión de riesgo de información enfocada a las MPYMES, contempla 4 dominios, representados en la *Figura 3*.

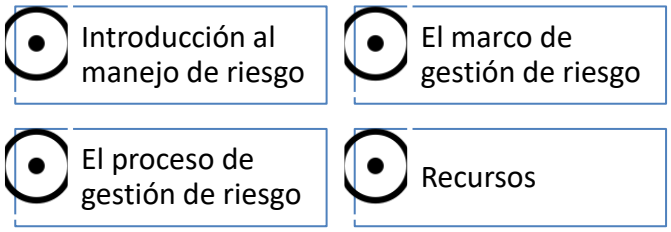


Figura 1: Los dominios de ECU@Risk

ECU@Risk parte de una necesidad clave: Las organizaciones MPYMES ecuatorianas no están preparadas, o aún mantienen niveles iniciales en cuanto a gestión de riesgo se refiere.

Esta metodología propuesta está basada en los principios de la administración de riesgos, provista por los estándares ISO 31000:2009, y en las mejores prácticas de seguridad de la información: ISO 27001, ISO 27002 e ISO 27005, además del estudio de las principales metodologías internacionales usadas para la gestión de riesgos y seguridad de la información. La metodología se resume en un manual, el mismo que brinda los procesos mínimos requeridos para gestionar de forma adecuada la información de una organización.

Al saber que una MPYME también es influenciada por factores exógenos, como los cambios políticos (entorno externo), cambios de gobierno corporativo (entorno interno), recortes presupuestales, inestabilidad de la economía global, riesgos monetarios, sostenibilidad financiera y uso de recursos limitados; globalización y la revolución digital, productos sustitutos, tendencias, moda; el alto costo de equipamiento tecnológico, y el intenso escrutinio de las instituciones de control, hacen que la organización descuide sus procesos de gestión de riesgo, o que simplemente no los adopte.

Así, ECU@Risk sugiere los roles y responsabilidades del personal que debe soportar y participar en los procesos de gestión, en los que se menciona la alta dirección, los propietarios de la información, los propietarios de los sistemas de información, un comité de riesgo de TI, el coordinador de seguridad designado, los profesionales de TI, y un comité de certificación de productos y servicios de TI.

Esta metodología considera el ciclo de un Sistema para la gestión de riesgos, el mismo que consiste en cuatro etapas: i) Planificar, ii) Ejecutar, iii) Verificar y iv) Actuar; conformando 5 procesos de gestión, un proceso de monitoreo y control, y un proceso comunicacional. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

Establecer el contexto

Este primer paso cuenta con los procedimientos necesarios para identificar el tipo y tamaño de organización; que permitirán definir el alcance de la investigación y sus objetivos; e identificar los interesados y/o áreas pertinentes involucradas o afectadas, así como los factores internos y el ambiente externo.

En este primer proceso, se han considerado los siguientes subprocesos:

1. Procedimiento para el tipo y tamaño de organización, considerando las políticas del Servicio de Rentas Internas ecuatoriano.
2. Procedimiento para la identificación del contexto externo, considerando la herramienta PESTEL (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal)
3. Identificación del contexto interno, en base al análisis EFI soportado en la matriz FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas)
4. Identificación del contexto interno, utilizando la herramienta de las 7S de McKinsey.

Identificar los activos de información

Los activos de información, en una organización, hacen referencia a cualquier elemento que contenga información. ECU@Risk plantea los siguientes grupos de clasificación de activos de información que deberán ser considerados:

(ED) Edificaciones, (HW) Hardware, (SW) Software, (IE) Información Electrónica, (IP) Información en Papel, (Extraíble) Medios de almacenamiento extraíbles, (IC) Infraestructura de comunicaciones, y (RRHH) Recursos Humanos.

Para lograr esta clasificación, se propone considerar los siguientes sub procesos:

1. Identificar los activos de información, para lo cual proporciona procedimientos y herramientas que apoyen a esta clasificación, acotando que es importante considerar que la codificación del activo de información debe contener: (COD. CLASIFICACIÓN DEL ACTIVO) (SUB CODIGO) (SUB CÓDIGO) (SECUENCIAL), donde el campo secuencial es un número incremental, que permite distinguir a un activo de información frente a otro.
2. Una vez identificados los activos de información, será necesario valorarlos. Para ello, la metodología sugiere realizar esta valoración según criterios de confidencialidad, integridad y disponibilidad, agregando que, para este efecto, se puede utilizar cualquier escala. ECU@Risk sugiere una escala de diez niveles, donde 0 es despreciable y 10 es extremo.

Identificar los riesgos

Para esta secuencia de pasos, se ha sugerido partir de las siguientes premisas:

- ¿Qué puede pasar?

- ¿Cómo puede pasar?
- ¿Dónde puede suceder?
- ¿Por qué podría suceder?
- ¿Cuál podría ser el impacto si se presenta el riesgo?
- ¿Cuál podría ser el impacto si se materializa el riesgo?

Los subprocesos que se han considerado en esta etapa consisten en:

Identificación de amenazas, para lo cual se proporcionan formatos y lineamientos para su correcta identificación.

Valoración de amenazas, en base a criterios de impacto. Para ello, se proporciona la forma de hacerlo en la metodología.

En Ecuador, las amenazas que pueden afectar a las operaciones de una organización se clasifican de acuerdo a lo expuesto en la *Figura 4*:

Figura 2: Clasificación de los riesgos organizacionales en Ecuador

Analizar los riesgos

Una vez que el riesgo ha sido identificado, el contexto, causas, factores de contribución y las consecuencias que han sido descritas, se deben considerar las fortalezas y debilidades de los sistemas y procesos designados para ayudar a controlar el riesgo. Debe conocerse cuales controles ya se encuentran identificados e implementados, si estos son eficaces, si contribuyen en la identificación de algo, si es necesario seguir actuando, o simplemente no colaboran con ninguna acción.

Para ello, este proceso considera el siguiente sub proceso:

> Análisis del Riesgo: Para ello, proporciona mecanismos para identificar los controles existentes, la evaluación de probabilidad de ocurrencia, la evaluación de la consecuencia,

la valoración del nivel de riesgo, todos ellos en 5 niveles. Para esta valoración, se sugiere hacer referencia a la *Tabla 1*.

Tabla 1: Matriz de riesgos

Matriz de Riesgos						
		Consecuencia				
		1. Leve	2. Menor	3. Moderado	4. Alto	5. Extremo
Probabilidad	E - Casi certero (frecuente)	M	M	A	E	E
	A - Probable	B	M	A	A	E
	M - Posible	B	M	M	A	A
	B - No muy común	B	B	M	M	A
	L - Raro	L	L	B	B	M

Evaluar los riesgos

Este proceso proporciona directrices para decidir si los riesgos son aceptables o inaceptables. Lo comprendido sobre el riesgo, se lo utiliza para tomar decisiones acerca de acciones futuras. Estas decisiones deben incluir:

1. No emprender o continuar con el evento, actividad, proyecto o iniciativa.
2. Tratar activamente el riesgo.
3. Priorizar las acciones necesarias.
4. Aceptar el riesgo.

Tratar los riesgos

De los resultados obtenidos en la matriz de Riesgo, se deberán considerar los niveles de aceptación de riesgo, sugeridos en la *Tabla 2*:

Tabla 2: Niveles de riesgo

Niveles de riesgo - Acción de gestión requerida	
Riesgo extremo (E)	Requiere respuesta y atención inmediata.
Riesgo alto (A)	Debe otorgársele la atención apropiada.
Riesgo medio (M)	Evaluar el riesgo y determinar si los controles implementados son suficientes y si están siendo efectivos.
Riesgo Bajo (B)	Administrar mediante procedimientos rutinarios; informar a los gestores locales; supervisar y revisar localmente como sea necesario.
Riesgo Leve (L)	Monitoreo constante a las actividades diarias. Registrar eventos en bitácora.

Para tratar los riesgos de manera adecuada, la metodología sugiere los siguientes aspectos:

1. Decidir si es necesario un tratamiento específico o si el riesgo puede ser tratado adecuadamente durante el curso de procedimientos normalizados de gestión y actividades de tratamiento específico.

2. Trabajar en lo que se quiere como deseable para el tratamiento de riesgo.
3. Identificar y diseñar una opción preferente de tratamiento, una vez que el objetivo del tratamiento ha sido conocido.
4. Evaluar las opciones de tratamiento y su viabilidad en relación con la tolerancia al riesgo.
5. Documentar el plan de tratamiento de riesgo.
6. Aplicar los tratamientos acordados.
7. Consideraciones para evaluar el riesgo residual, una vez que todos los riesgos hayan sido tratados.

Identificar las contramedidas

Para seleccionar las contramedidas que brindarán protección a los activos organizacionales, se considerará, primeramente, los elementos de protección actual establecidos, y luego los posibles elementos de control que podrán ser implementados. Este procedimiento hace referencia a los elementos de salvaguardas que deben considerarse como contramedidas que permitan gestionar los riesgos, sugeridos en la *Tabla 3*.

Tabla 3: Tipo de protección

TIPO DE PROTECCIÓN	
PGeneral	Protección de tipo general
PInfo	Protección de Información Electrónica y de Papel
PSW	Protección de software
PHW	Protección del hardware
PIC	Protección de la Infraestructura de Comunicaciones
PSF	Seguridad Física, relativa a edificaciones e instalaciones.
PRRHH	Relativas a los Recursos Humanos

Monitorear y Revisar

Esta etapa hace referencia a la supervisión de cambios en la fuente y el contexto de los riesgos, la tolerancia a ciertos riesgos y la adecuación de los controles. Busca garantizar que los procesos se encuentran implementados para revisar, evaluar e informar sobre los riesgos con regularidad.

Como procedimientos, la metodología considera:

Monitoreo continuo, mediante una política de reporte y monitoreo, en el que los actores fundamentales son el Comité de Riesgos y Auditoría interna.

Reportar formalmente, donde la organización se somete a la obligación de informar a cada uno de los interesados (stakeholders) de manera oportuna y transparente.

Consideraciones al momento de registrar, como, por ejemplo, las causas, consecuencias y controles actuales.

Comunicar y consultar

La comunicación efectiva y la consulta son esenciales para asegurar que los responsables de la implementación de la gestión de riesgos, y los que tienen un interés personal, puedan comprender la base sobre la que se toman las decisiones y las razones por las cuales se seleccionan las opciones de tratamiento particulares. Para ello, se sugiere incluir:

1. Reuniones
2. Reportes
3. Sistemas de comunicación en línea
4. Talleres de inducción y capacitación a los empleados
5. Noticias
6. Grupos focales

La última sección del documento hace referencia a los recursos, que incluye las matrices sugeridas para la identificación de los activos de información, la matriz para la gestión de riesgos, la matriz para el registro y cálculo de riesgos, la matriz para el manejo de riesgos y un cuestionario sugerido para la aplicabilidad de la metodología.

ECU@Risk cuenta con una proyección hacia COBIT 5 y COSO III, debido a que incluye aspectos relacionados con la identificación del contexto organizacional, la evaluación de los aspectos que conlleven a fraudes, la identificación de las actividades de control (establecimiento de contramedidas) (Minchala, 2016), procedimientos para el monitoreo continuo y métodos para reportar a los interesados; considerando Principios, políticas y modelos de referencia, procesos, estructuras organizacionales, cultura, ética y comportamiento, información, servicios, infraestructura y aplicaciones, gente, habilidades y competencias (Delgado, 2014) .

5. Discusión

Considerando que la información es uno de los activos más valiosos de una organización y que su protección es de suma importancia, proponer un modelo de gestión para la seguridad de la información, basado en las mejores prácticas y métodos existentes, tendiente a facilitar su implementación y uso en las MYPYMES nos llevó a diseñar un modelo particularizado.

La metodología propuesta resume las mejores prácticas de las normas internacionales ISO 27001, ISO 27002, ISO 27005 e ISO 31000; además de las metodologías Magerit V3, Microsoft Risk Management, Octave-S y CRAMM, la proyección a los marcos de referencia COBIT 5 y COSO III, así como también múltiples herramientas de las ciencias administrativas, todo esto considerando el estudio del marco legal ecuatoriano.

Al sintetizar y extraer la esencia de cada uno de los estudios anteriores se ha logrado la construcción de una metodología que pueda aplicarse en un contexto MPYME, considerando que, las organizaciones de este sector cuentan con recursos limitados.

El desconocimiento, la confianza con los empleados y los proveedores, la cantidad de exigencias que forman parte de las ISO, la complejidad de los marcos de referencia, y las leyes ambiguas que atienden el tratamiento de la información en el Ecuador, conllevan a que las empresas de este sector desistan en la adopción de mecanismos formales para el tratamiento de riesgo.

Se espera que ECU@Risk aporte a esta complicación que mantienen las MPYMES, debido a que las herramientas que se incluyen en esta metodología son de fácil utilización, considerando todas y cada una de las etapas que requiere la gestión de riesgos; eso es, la identificación del contexto organizacional, la identificación y valoración de los activos de información, la identificación y valoración de las amenazas y su frecuencia de ocurrencia, la ponderación del riesgo, la identificación de contramedidas y el tratamiento del riesgo residual.

Finalmente, se puede acotar que, si bien se ha realizado una prueba concepto dentro de las instituciones, las próximas actividades a realizar consistirán en aplicar la metodología en diferentes instituciones del sector MPYME, a manera de evaluar la efectividad de la misma y proceder con los ajustes necesarios; al mismo tiempo que permitirá que este tipo de organizaciones adopten prácticas puntuales y alcanzables en cuanto a la gestión de riesgo de información se refiere.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Es posible que varios negocios y organizaciones situadas en la costa ecuatoriana, luego de la tragedia provocada por el terremoto del 2016, hayan perdido su información o retomado las operaciones luego de un tiempo considerable, a causa de la carencia de un plan de continuidad. Es interesante cuestionarse ¿Qué pasó con la información de inventarios o de facturación que mantenían esas MPYMES? ¿Cómo saber cuáles son sus deudores y cuál es el valor a cancelar a sus acreedores? Es probable que los activos físicos se hayan visto afectados, pero en sí la información debería ser recuperada si se contaba con un adecuado plan de contingencia y procedimientos claros para la gestión de riesgos. Está claro que las empresas del sector MPYME no están preparadas para enfrentar los riesgos de manera formal, esto es, los riesgos son manejados a un nivel AdHoc o simplemente los maneja como respuesta a un incidente. De esta manera se puede concluir que:

1. La retroalimentación de cada una de las metodologías estudiadas ha permitido asimilar las mejores cualidades y características de cada una, en las que se ha podido comprobar que la gestión de riesgos se resume en la identificación y valoración de los activos de información, la identificación y valoración de amenazas, el cálculo de riesgos, la identificación de contramedidas y el manejo del riesgo residual; recalcando que cada una de ellas adopta las mejores prácticas de las ISO27001, 27002, 27005 y 31000; utilizadas para la gestión de la seguridad de la información y la gestión del riesgo.

2. ECU@Risk es una metodología fruto del análisis de otras múltiples utilizadas a nivel internacional para la gestión de riesgos, las mismas que reflejan aspectos positivos y consideraciones especiales de cada una de las normativas ISO utilizadas para este propósito; integra además múltiples herramientas propias de la gestión empresarial, tales como el PESTEL, las 7S de McKinsey o el FODA. Además, propone una plantilla que servirá para la recolección y valoración de cada uno de los datos relevantes que componen un activo de información, sabiendo que estas ayudarán a inventariarlos, estudiarlos, administrarlos y gestionarlos.
3. ECU@Risk propone procesos para el inventario de activos de información, considerando como categorías principales i) edificaciones o instalaciones, ii) el hardware, iii) el software, iv) la información electrónica, v) la información en papel, vi) la infraestructura de comunicaciones, vii) los medios de almacenamiento extraíbles y viii) los recursos humanos; elementos con que toda organización del sector MPYME cuenta.
4. Tal como lo establece COBIT, ECU@Risk analiza aspectos relacionados con las estructuras organizativas, donde para cada empresa tendrá definida una estructura variada; y que, en función de su composición y ámbito de decisiones, las mismas podrán ubicarse en el área de gobierno o en el de gestión.
5. ECU@Risk está alineada a la normativa vigente, en la que se ha considerado el análisis de los aspectos legales, partiendo del estudio de regulaciones internacionales y compararla con las leyes ecuatorianas, en las que se ha podido ver, de manera inicial, un bajo nivel de madurez en estas últimas. Las acciones que ECU@Risk considera en sus todos sus procesos son legales, pues se encuentran dentro del marco normativo vigente y no a la voluntad de cada persona, tema que fue discutido por Jaramillo Palacios en el 2014 (García Falconí, 2011). Además, cumple con la “calidad de los textos normativos”, ya que incluye procedimientos claros que no van contra de la Constitución de la República del Ecuador. ECU@Risk puede ser de interés público y estar disponible en formatos accesibles para los solicitantes e interesados en él, considerando siempre los derechos de propiedad intelectual.
6. Es vital que las MPYMES dentro de su marco legal organizacional considere crear conciencia a los usuarios y público en general; recolectar constantemente estadísticas y datos sobre incidentes informáticos, y registrarlos en bitácoras de control; establecer planes de capacitación continua al personal implicado en la seguridad de la información, además de una actualización permanentemente del marco normativo que contiene las políticas de seguridad de la información; y sobre todo la concienciación y compromiso de la alta gerencia.
7. Dentro del tratamiento de riesgos se han propuesto aspectos que deberían considerarse en la elección de contramedidas, conociendo que estas deberán ser alcanzables, aplicables, aceptables, además de medibles y registrables. Las políticas de seguridad

resultantes de la aplicación de esta metodología, aportarán a las decisiones de gobierno que deben ser sancionadas en la empresa.

8. Para que su aplicación sea efectiva en una MPYME, será importante la participación de la gerencia en los procesos de gestión de riesgo, pues el compromiso que mantenga es primordial para lograr mitigar los riesgos en conjunto con un buen equipo de trabajo y de esta manera alcanzar las metas y objetivos corporativos que se fusionan en una visión empresarial.

Bibliografía

Bernal, C. A. (2006). *Metodología de la Investigación.* México: Pearson Prentice Hall.

Calderón, D., Estrella, M., & Flores, M. (2011). Sistema de Gestión de Seguridad de la Información aplicada al área de recursos humanos de la empresa DECEVALE S.A. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

Crespo, E. (2016). *Metodología de Seguridad de la Información para la gestión del Riesgo Informático aplicable a MPYMES.* Universidad de Cuenca, Cuenca.

Delgado, J. A. (2014). Ciberseguridad en Gobernanza de Internet en Ecuador: Infraestructura y acceso. *Encuentro Nacional de Gobernanza de Internet, Quito, Ecuador.* Quito.

García Falconí, J. (07 de 02 de 2011). *Revista judicial*. Obtenido de derechoecuador.com: http://www.derechoecuador.com/articulos/detalle/archive/doctrinas/derechoinformatico/2011/02/07/la-proteccion-de-datos-personales

Gómez, Á. (2011). *Enciclopedia de la seguridad informática.* México: Alfa-Omega.

ISACA. (2012). *Un Marco de Negocio para el Gobierno y la Gestión de las TI de la Empresa.* Madrid: ISACA® Framework. doi:978-1-60420-282-3

Minchala, P. (2016). *Estudio comparativo de las metodologías COBIT 5 y COSO III para la gestión del riesgo de TI.* Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.

Muñoz, D. C. (24 de Febrero de 2012). *dspace.* Obtenido de space: http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1442/5/Capitulo%202.pdf

Superintendencia de Bancos y Seguros. (2011). Gestión integral y control de riesgos. En *Normas generales para las instituciones del sistema de seguros privados* (págs. 95 - 107). Quito: Superintendencia de Bancos y Seguros.

Vásquez, F., & Gabalán, J. (2015). Información y ventaja competitiva. Coexistencia exitosa en las organizaciones de vanguardia. En *El profesional de la información* (págs. 149-156). Ebsco.

Vásquez, S., & López, D. (14 de 03 de 2016). Estudio comparativo entre las metodologías Microsoft Secure Risk Management y Octave. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.122 - 134
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Transporte público inteligente al alcance de sus manos

(Smart public transportation at your fingertips)

Juan Pablo Rojas[1], Julio César Bustos[1], Diego Ordóñez Camacho[1]

Resumen:
El sistema QBus permite ubicar las rutas de buses que circulan en la ciudad de Quito. Está conformado por una aplicación móvil la cual utiliza tecnología Bluetooth Low Energy o códigos Quick Response para identificar cada una de las paradas. Se basa en la ubicación del usuario para mostrar las paradas más cercanas y buscar las rutas de buses disponibles. La aplicación muestra información relevante de cada ruta y, mediante un mapa digital, dibuja su trayecto y las paradas que realiza. Además de esto, ofrece la funcionalidad "¿Cómo Llego?" que permite al usuario buscar la ruta de buses disponibles para desplazarse de un punto a otro dentro de la ciudad. Para cumplir con este proceso, QBus realiza una búsqueda de las rutas de buses que tengan paradas cercanas a los puntos de origen y destino; esta funcionalidad indica al usuario la parada en la cual debe tomar el bus y en cual debe bajarse. Por otro lado el sistema consta de un portal web el cual permite gestionar toda la información de la aplicación, es decir, cooperativas, paradas y rutas de buses de una manera gráfica mediante el uso de la API V3 de Google Maps.

Palabras clave: transporte público; Bluetooth Low Energy; mapas digitales; ciudades inteligentes; aplicaciones ubicuas

Abstract:
QBus is a system that locates the bus routes circulating in the city of Quito. It consists of a mobile application which uses either Bluetooth Low Energy technology or Quick Response codes to identify the stops. It is based on the location of the user to show the nearest stops and search the available bus routes. The application shows relevant information of each route and, using a digital map, draws its path and the stops it performs. In addition to this, it offers the "How do I get there" functionality that allows the user to search the available bus routes to move from one point to another within the city. In order to comply with this process, QBus performs a search of the bus routes that have stops near the points of origin and destination; this functionality indicates to the user the stop in which he must take the bus and in which it must get off. On the other hand the system consists of a web portal which allows to manage all the information of the application, ie cooperatives, stops and bus routes in a graphical way through the use of the Google Maps V3 API.

Keywords: public transportation; Bluetooth Low Energy; digital maps; smart cities; ubiquitous apps

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador ({rhjp1023573, bnjc1023650, dordonez} @ute.edu.ec)

1. Introducción

El sistema QBus permite a los usuarios de transporte público conocer la ubicación de las paradas, las líneas de transporte que pasan por ellas, y el recorrido de dichas líneas, permitiendo también graficar su trayecto en el mapa digital de Google Maps. Permite usar la aplicación tanto en línea, mediante un browser como desde un Smartphone, sin la necesidad de tener conexión a internet. Para el reconocimiento de las paradas hace uso de tecnología Bluetooth Low Energy, BLE, y de códigos Quick Response, QR. La aplicación web permite además de lo mencionado, administrar el contenido de la aplicación, como lo es crear paradas y dibujar rutas nuevas utilizando la API de Google Maps para JavaScript.

Para una correcta movilidad en las urbes actuales, maximizando el uso del tiempo, los usuarios del transporte público necesitan obtener información precisa sobre las posibilidades de desplazamiento entre los puntos de origen y destino. Esto implica un conocimiento apropiado de las rutas y paradas, lo cual, dado el tamaño tanto de las urbes como de las redes de transporte implementadas en ellas, se beneficia de algún tipo de ayuda automatizada (Sungur, Babaoglu, & Sungur, 2015).

Los sistemas de transporte en general, y con respecto a sus usuarios más particularmente, se encuentran constantemente exigiendo mejoras tecnológicas que permitan aprovechar de manera más eficiente sus servicios. Estas mejoras requieren de la interacción de una variada gama de elementos íntimamente relacionados con las tecnologías de la información, y especialmente con las facilidades al alcance del usuario típico a través de su Smartphone (Nkoro & Vershinin, 2014).

El problema de ubicarse en relación a la red de transporte público es muy común y en ocasiones dramático, sobre todo para el turista. Verma et al (Verma et al., 2016) describen de manera muy acertada las peripecias a las que se puede ver enfrentada una persona que sin estar familiarizada con una ciudad mal señalizada, decide utilizar el transporte público, principalmente: ¿Dónde están las paradas más cercanas y qué líneas de bus pasan por ellas? ¿Cómo llegar hasta el lugar de destino? ¿Es necesario caminar? ¿Cuánto tiempo puede tomar el trayecto? Estas y muchas otras dudas y dificultades forman parte del día a día de un gran número de personas al enfrentarse al transporte público.

Enfrentar esta problemática, como ya se ha mencionado, requiere del concurso de una diversidad de elementos que deben ser correctamente conjugados e integrados en una arquitectura distribuida capaz de consolidar distintos sistemas de transporte, estructuras de datos y dispositivos heterogéneos tanto en lo que se refiere al componente emisor como al sensorial, para proporcionar al usuario una experiencia eficiente con un razonable uso de recursos (Nasim & Kassler, 2012).

1.1 Trabajos relacionados

Actualmente es común encontrar en ciudades sistemas de transporte inteligente (Santos, Pereira, & Leal, 2012). Estos sistemas son generalmente de tipo web, y permiten al usuario conectado al internet buscar una ruta entre dos puntos, con las respectivas relaciones de transporte público. Ejemplos interesantes de este tipo de sistema pueden ser SMARTBUS (Ram et al., 2016), el cual es una iniciativa internacional de investigación entre universidades e instituciones gubernamentales, puesto en práctica en Fortaleza, Brasil, que entre otras cosas busca un posicionamiento más adecuado de las paradas, de acuerdo a datos recolectados de los usuarios. Más cerca del gran público, uno de los sistemas web más desarrollados es Moovit (Moovit Inc., 2016), que ofrece una red de varias ciudades a nivel mundial, y que integra una aplicación móvil que no solo facilita el uso del browser en el dispositivo, sino que integra ya el GPS para el posicionamiento, siempre mientras el usuario está en línea.

Más allá del típico uso del GPS, SubwayPS (Stockx, Hecht, & Schöning, 2014) toma en cuenta que bajo techo dicha señal se pierde, e implementa un sistema basado principalmente en el acelerómetro para brindar ayuda al posicionamiento en las redes de metro. Más cerca de los intereses del presente proyecto, Palumbo et al (Palumbo, Barsocchi, Chessa, & Augusto, 2015) investigan el uso de Bluetooth Low Energy, BLE, y Received Signal Strength, RSS. Asimismo, tanto Kobayashi (Kobayashi, 2015), como Eken y Sayar (Eken & Sayar, 2014) utilizan códigos Quick Response, QR, para resolver el problema de la ubicación en las paradas. Couto et al (Couto, Leal, Costa, & Galvão, 2015) juntan BLE, RSS y Near Field Communication, NFC, para explorar el problema del tiquetaje, siempre en relación con el transporte público.

A continuación el artículo se encuentra dividido de la siguiente manera: la sección 2 detalla los métodos, tecnologías y herramientas utilizadas; en la sección 3 se presentan los detalles del sistema resultante, considerando funcionalidad, diseño y pruebas; la sección 4 entabla una discusión que intenta comparar el sistema presentado con aquellos existentes destacando los puntos fuertes y débiles relevantes; finalmente la sección 5 presenta las conclusiones más importantes así como ciertas recomendaciones de trabajo a futuro.

2. Metodología

Gracias al análisis de los emprendimientos realizados a nivel de la investigación en el área, así como del sondeo de la problemática y necesidades de los usuarios se pudo delinear un sistema que facilite conocer la ubicación de las paradas, las líneas de transporte que pasan por ellas, y el recorrido de dichas líneas, permitiendo también graficar un trayecto. Uno de los requisitos de base también fue, además de poder usar la aplicación en línea, mediante un browser y conexión a internet, también poder hacerlo desde un Smartphone, sin conexión a internet, y en la parada misma.

Posterior a la ejecución de un plan rápido inicial que consistió en identificar los requerimientos funcionales y no funcionales, y un diseño del prototipo que incluyó el desarrollo de diagramas de secuencia, diagramas de flujo, diagramas de clase y el diseño de la base de datos; se decidió implementar un sistema distribuido con un servidor centralizado en la nube, el cual contiene la información de cooperativas de buses, paradas, líneas de transporte y rutas, y responde a las consultas distribuyendo la información tanto en HTML para su uso en un navegador, como en mensajes JSON personalizados, para su uso en aplicaciones cliente móviles, mediante un servicio web. Este componente servidor se desarrolló utilizando PHP y una base de datos relacional MySQL.

El lado cliente consideró dos alternativas, su uso en un browser estándar, para lo cual se trabajó con HTML5, CSS3 y JavaScript sobre el CMS Drupal, y su uso en un dispositivo móvil tipo Smartphone, para la cual se decidió realizar una aplicación nativa para iOS utilizando el lenguaje de programación Objective-C.

Para el primer caso QBus cuenta con dos elementos, un portal de administración de información y una página web orientada netamente a los usuarios del transporte público. Dentro del portal de administración se puede agregar todos los datos concernientes a las cooperativas de buses, paradas, rutas y graficar los trayectos en un mapa digital implementando el API de Google Maps. Mientras que en la página web los usuarios pueden obtener sugerencias de rutas para desplazarse de un lugar a otro dentro de la ciudad.

En el caso de la aplicación móvil se concibió sobre todo para un uso fuera de línea, por lo cual al encontrarse conectada a internet sincroniza la información del servidor con una base de datos interna.

Para el posicionamiento, al estar en línea se puede hacer uso del GPS en conjunto con el framework nativo de mapas de iOS, Maps. Para aquellos casos en que se está fuera de línea, y muy probablemente fuera del alcance GPS, como sucedería en una parada subterránea de metro, se implementó un sistema doble que puede utilizar BLE y QR.

BLE permite, mediante un beacon instalado en la parada, que el dispositivo conozca su ubicación exacta. Dado que esta tecnología es relativamente nueva, mediante códigos QR y la cámara del dispositivo, la aplicación puede también conocer en qué parada se encuentra el usuario.

3. Resultados

El resultado final de la investigación fue el desarrollo de un prototipo funcional del sistema QBus, el cual permite brindar un apoyo para los usuarios de transporte público de Quito al proporcionar información acerca de las distintas líneas de buses que circulan por la ciudad.

Entre las funcionalidades más importantes del sistema está el poder dar servicio al usuario fuera de línea, a través de la aplicación móvil. En la *Figura 1* se esquematiza el proceso de toma de decisiones que permite manejar los dos estados posibles: online y offline. En caso de encontrarse conexión a internet, la aplicación compara, a través de hashing por rapidez, la versión de los datos en el servidor con la versión guardada, actualizando los datos si es del caso.

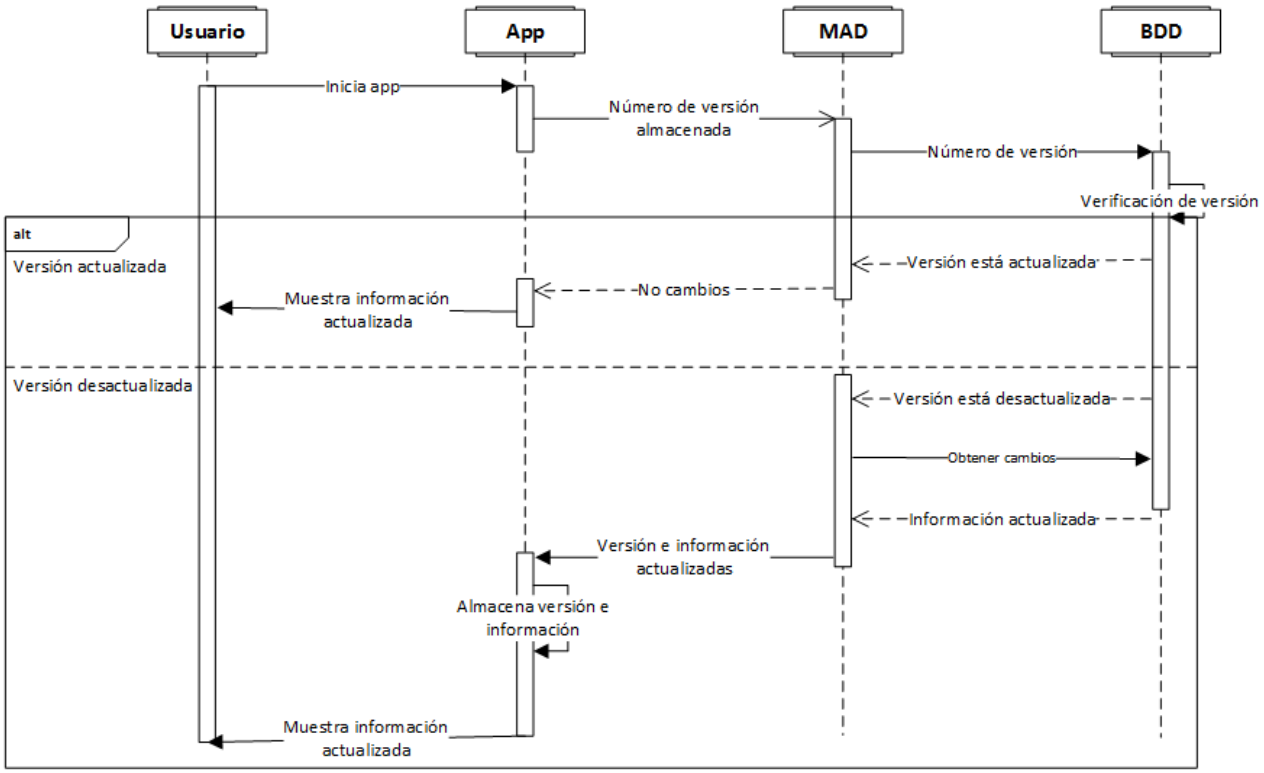


Figura 1. Detección del estado online y offline

Clave entre las decisiones de diseño del sistema se encuentra la posibilidad de utilizar BLE y QR mediante la aplicación móvil para conocer en qué parada se encuentra el usuario, y así poder efectuar búsquedas específicas con dicho origen. Ambas alternativas son funcionalmente iguales y en la *Figura 2* se presenta la alternativa BLE.

Cuando el usuario ingresa a la funcionalidad del buscador de beacons, la aplicación inicia el monitoreo para encontrar uno cercano. En el caso de que sea detectado, la aplicación recibe el UUID y en base al identificador realiza una búsqueda en los datos que tiene almacenados internamente el dispositivo, para presentar la información de la ruta correspondiente. Si no existe ningún registro con dicho identificador se muestra un mensaje al usuario indicando lo sucedido. El mismo proceso sigue la funcionalidad de captura de códigos QR.

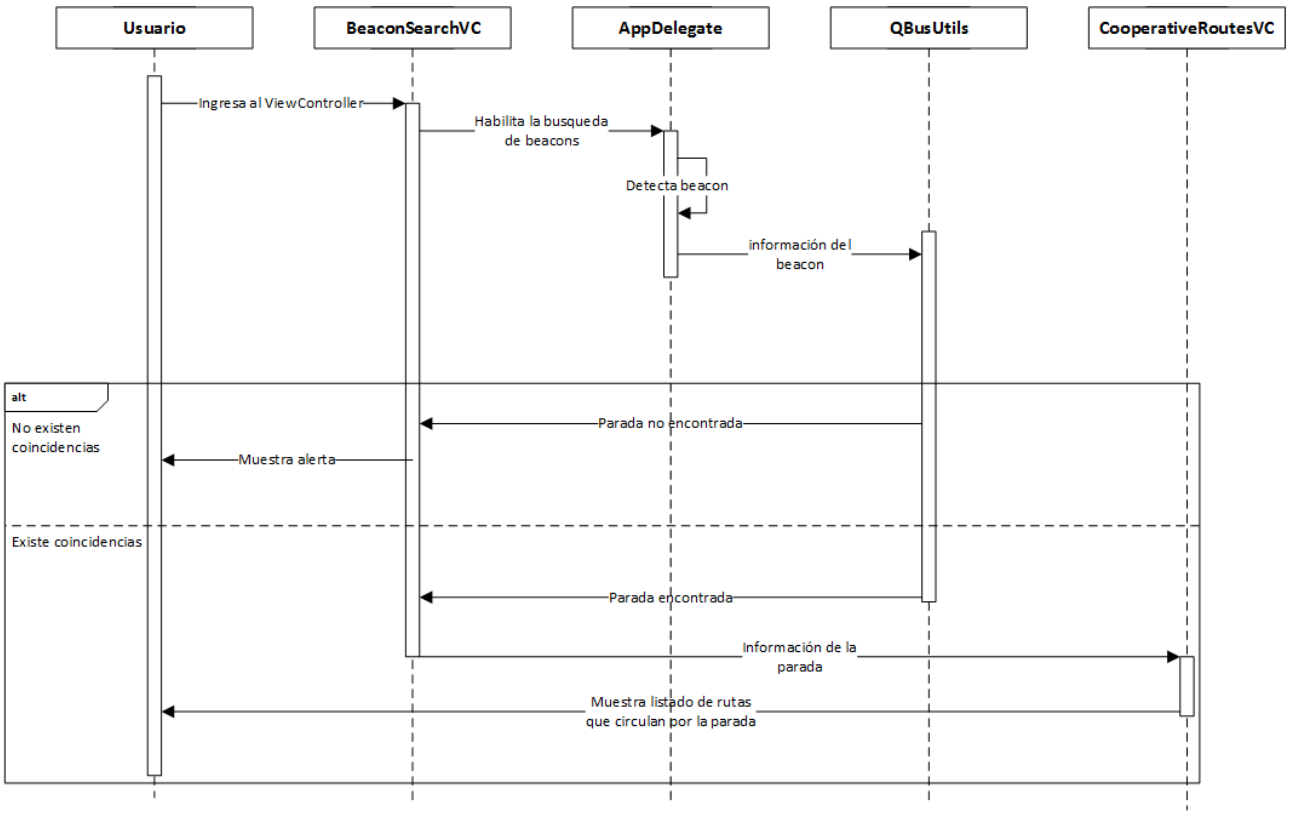


Figura 2. Proceso BLE para detección de paradas

Una de las principales necesidades de los usuarios es conocer qué ruta tomar para poder llegar a un destino, Generalmente esta acción considera como origen la parada actual, sin embargo el sistema es suficientemente genérico como para tanto desde un browser, como desde la aplicación móvil, poder seleccionar el punto de partida y el de llegada. El proceso general se esquematiza en la *Figura 3,* donde se presenta la secuencia que sigue la aplicación para mostrar toda la información disponible llegando hasta la presentación de sugerencias para el desplazamiento, que se puede apreciar en la aplicación, en la *Figura 4*, y en la página web en la *Figura 5*.

Las pruebas de funcionamiento del sistema fueron de caja negra principalmente, con mayor énfasis en la aplicación móvil, y se organizaron en tres fases, requerimientos, funcionalidad, y resistencia y rendimiento, finalizando con la verificación del protocolo de aseguramiento de calidad, con resultados positivos en todos sus ítems, lo cual se presenta en la *Tabla 1.*

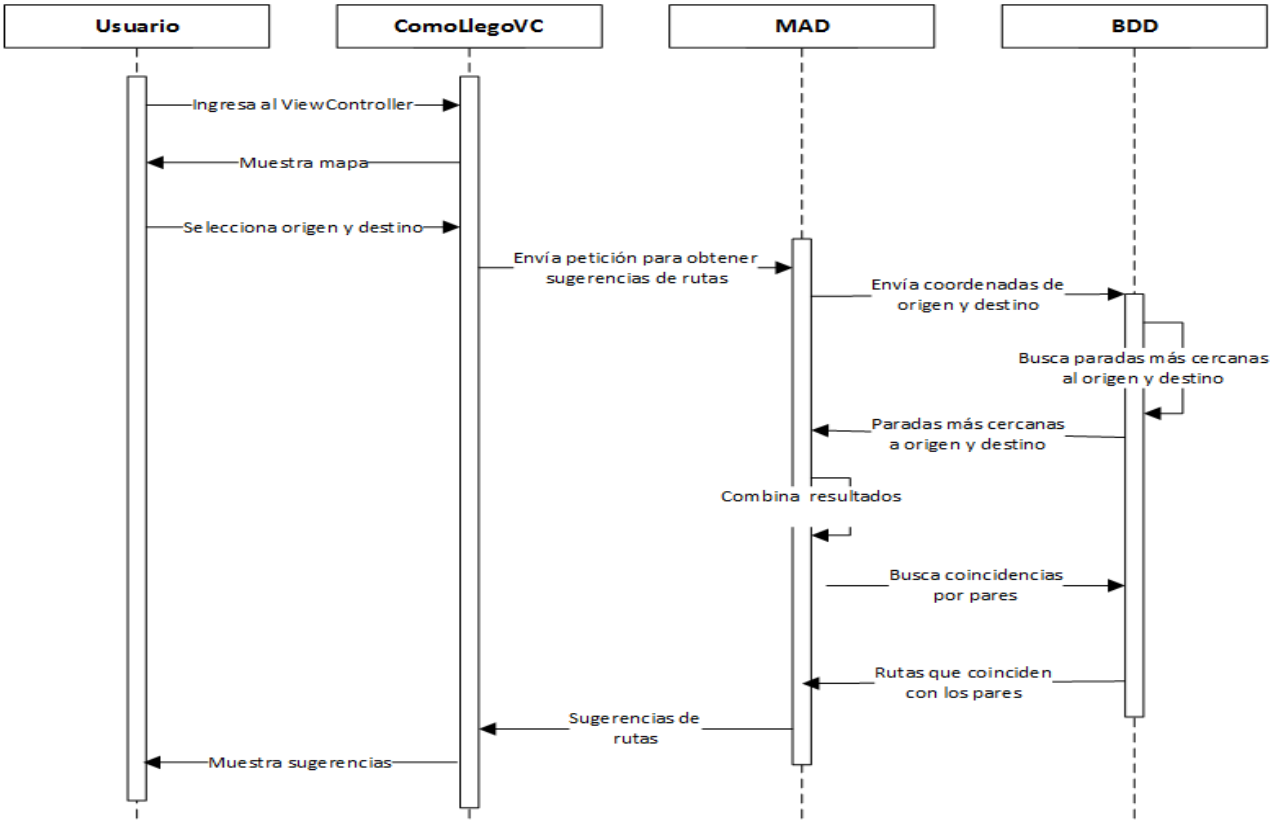


Figura 3. Buscador de rutas

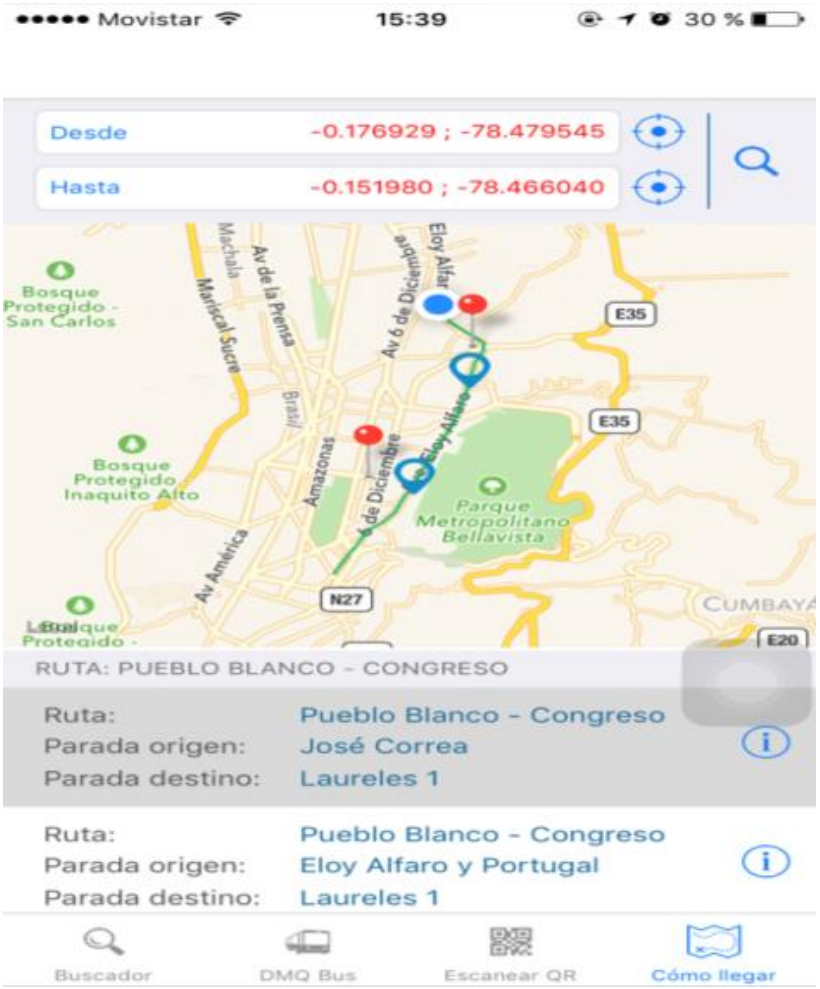


Figure 4. Sugerencias de ruta

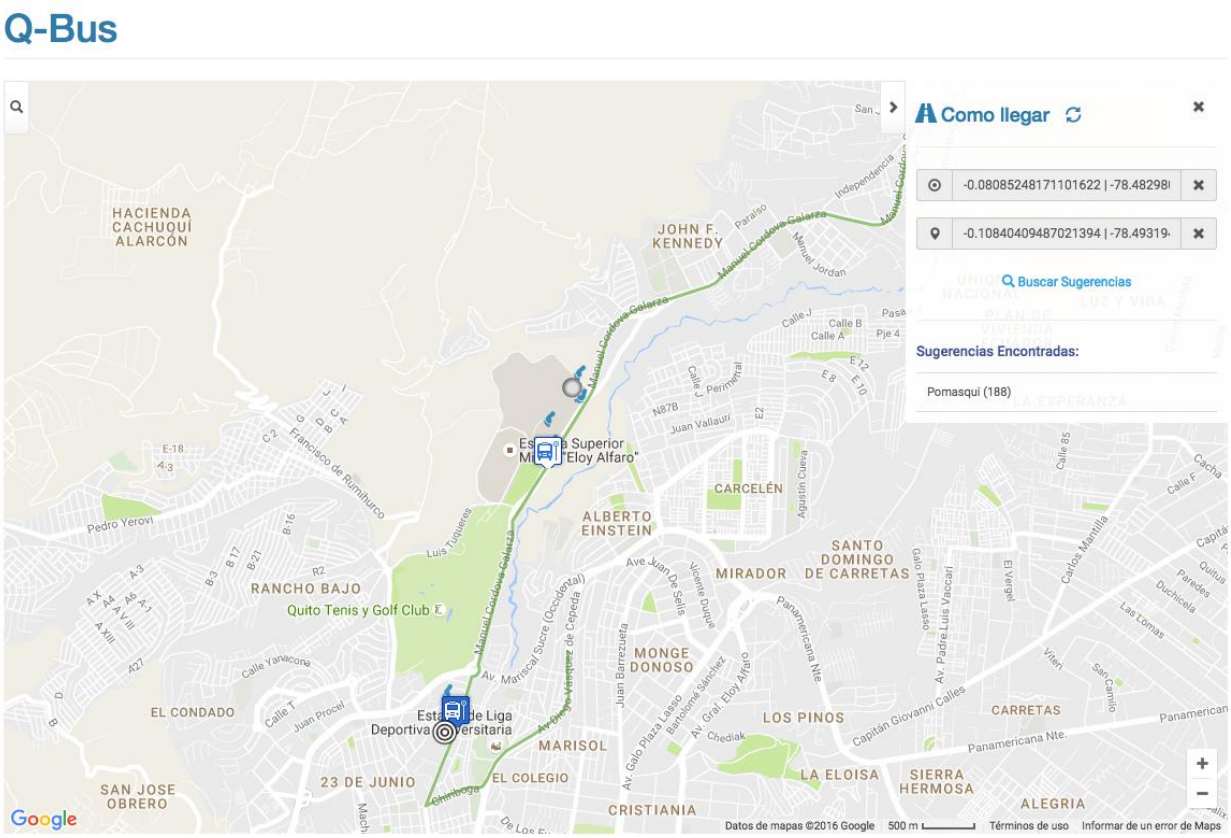


Figura 1. Funcionalidad Cómo Llego en la página web

Tabla 1. Pruebas y protocolo de aseguramiento de calidad

Pruebas y actividades validadas satisfactoriamente
Instalación en equipos
Obtener información vía WiFi
Obtener información vía EDGE, 3G, LTE
Verificar el funcionamiento del Bluetooth
Activar la localización del usuario
Detectar beacon y mostrar información asociada
Capturar código QR y mostrar información asociada
Buscar una cooperativa, ver sus rutas y detalles
Ver el recorrido de una ruta y las paradas por las cuales circula
Utilizar la funcionalidad ¿Cómo llego? Para detectar un punto en el mapa y mostrar sugerencias de buses para llegar hasta el mismo
Verificar la posición del usuario en el mapa digital.
Salir y liberar recursos del aplicativo

3. Discusión

El sistema QBus se encuentra implementado con todas las funcionalidades mencionadas, y para poder identificar las fortalezas y debilidades del producto como tal se hizo una comparativa con otras aplicaciones que ofrezcan información sobre el transporte público de una o varias ciudades.

Las aplicaciones utilizadas para realizar la comparación fueron seleccionadas a través de una búsqueda en AppStore, siendo los parámetros de idoneidad las descargas realizadas, calificaciones obtenidas, costo y características de las apps. Resultado de esta búsqueda fueron elegidas Moovit (Moovit Inc., 2016), Google Maps (Google Inc., 2017), BA Cómo Llego (Buenos Aires Ciudad, 2017) y Transit App (Transit App Inc., 2017).

Entre las principales fortalezas con las que cuenta QBus es el uso de tecnologías como BLE y códigos QR para la identificación de paradas, funcionalidad que ninguna de las apps analizadas ofrece. Es importante mencionar también que QBus permite presentar no únicamente información correspondiente a buses, sino también rutas de los distintos corredores como Trolebús, Ecovía, Metrobus, Metro y sus alimentadores, lo cual permite a la aplicación brindar mayor información al usuario. Para obtener sugerencias de buses para llegar desde un lugar a otro, tanto QBus como Google Maps y Transit App utilizan el método de seleccionar puntos en el mapa, lo cual dependiendo de las circunstancias puede ser más sencillo para el usuario que recordar el nombre de una calle o intersecciones.

QBus no presenta información en tiempo real de la ubicación de los distintos buses debido a que esta funcionalidad requeriría del uso de un GPS en cada bus lo que supondría una inversión costosa. Sin embargo, podría ser también una tentativa para una próxima investigación ya que aportaría tanto a QBus como al control de la ruta que sigue el bus y el cumplimiento de los horarios establecidos. Aplicaciones como Moovit y Transit App ofrecen esta funcionalidad, pero no hacen uso de dispositivos GPS; calculan la posición actual de un bus basados en el tiempo de recorrido, el horario de salida y la distancia que deben recorrer. El problema con este método es que no se toman en cuenta variables externas como la densidad del tráfico que puede existir, accidentes o cualquier otro factor que pueda afectar al recorrido del bus.

Cabe recalcar que QBus todavía se la considera un prototipo dado que al momento no se ha puesto a disposición del público general, principalmente por que aún se busca incluir algunas funcionalidades secundarias, que podrían ayudarla a ser más competitiva en el mercado y atractiva para los usuarios. Tal es el caso del soporte para entregar sugerencias para llegar desde un lugar a otro teniendo en cuenta los trasbordos de los usuarios. Sin embargo, presenta también otras funcionalidades como el uso de BLE y códigos QR, para presentar información completa de las rutas de buses que circulan por determinada parada, atractivo que ninguna otra app de las analizadas presenta.

La *Tabla 2* muestra los resultados completos obtenidos durante el proceso de comparación.

Tabla 2. Comparación de funcionalidad

Funcionalidad	**Aplicaciones**				
	Q-Bus	**Moovit**	**Google Maps**	**Cómo BA Llego**	**Transit App**
DISTRIBUCIÓN					
Distribución a través de tiendas virtuales	n/a	X	X	X	X
Aplicación gratuita	n/a	X	X	X	X
ÁMBITO					
Soporte para múltiples ciudades	-	X	X	-	X
Soporta una o más ciudades de Ecuador	X	-	-	-	-
Información proveniente de la comunidad	-	X	X	-	X
Permite visualizar información de la ubicación de distintos buses, metro, tranvía, etc. En tiempo real	-	X	-	-	X
Soporta múltiples medios de transporte público (bus, tranvía, metro, subterráneo)	X	-	X	X	X
SUGERENCIAS PARA LLEGAR DESDE UN LUGAR A OTRO					
Presenta sugerencias de rutas para llegar desde un punto hasta otro	X	X	X	X	X
Es posible seleccionar los puntos mediante la selección de puntos en el mapa	X	-	X	-	X
Permite la identificación de paradas cercanas	X	X	-	-	X
Presenta sugerencias de rutas tomando en cuenta trasbordos	-	-	X	X	X
Permite obtener información detallada de las rutas que circulan por las paradas	X	-	-	-	-
PARTICULARIDADES					
Presenta mapas temáticos e información turística	-	-	X	X	X
Implementa notificaciones	-	X	-	-	X

Funciona sin conexión a internet	X	X	-	X	X
Utiliza tecnología Bluetooth para la detección de paradas	X	-	-	-	-
Utiliza códigos QR para la detección de paradas	X	-	-	-	-

4. Conclusiones y Recomendaciones

QBus es un sistema que engloba una amplia gama de características útiles para el usuario de transporte público, resolviendo especialmente el problema de obtener información cuando no hay conexión internet, y el usuario se encuentra ya en búsqueda de una buena alternativa de transporte, mientras se desplaza en la ciudad.

El sistema hace una correcta integración de tecnologías clásicas y de punta, consolidando GPS, QR y BLE en una aplicación móvil bien integrada al sistema web.

Las herramientas y librerias seleccionadas, descritas en la *Sección 2,* permitieron acortar los tiempos de desarrollo del proyecto y brindar una interfaz visual mejorada al usuario.

A futuro se planea desarrollar una versión de QBus para la plataforma Android, la cual tiene mayor porcentaje de usuarios en el mercado.

En próximas investigaciones se implementarán nuevas funcionalidades como las sugerencias de rutas implementando trasbordos, manejo del sentido de las rutas e implementación de protocolos seguros de transmisión de datos como los es HTTPS para evitar el robo de la información que fluye en la aplicación así como la ubicación.

Un cuello de botella es la recolección de información de paradas y líneas, para lo cual se pretende implementar las recomendaciones de (Santos et al., 2012) automatizando la recolección de este información con la participación del mismo usuario.

Además, mediante las innovaciones que han tenido los beacons (Kontakt.io, s/f), se planea incorporar funcionalidades que permitan recolectar información sobre aspectos como la temperatura o grado de contaminación del ambiente en las distintas paradas de la ciudad.

Bibliografía

Buenos Aires Ciudad. (2017). CómoLlego. Recuperado el 2 de septiembre de 2017, a partir de http://comollego.ba.gob.ar/

Couto, R., Leal, J., Costa, P. M., & Galvão, T. (2015). Exploring Ticketing Approaches Using Mobile Technologies: QR Codes, NFC and BLE. En 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 7–12). https://doi.org/10.1109/ITSC.2015.9

Eken, S., & Sayar, A. (2014). A smart bus tracking system based on location-aware services and QR codes. En 2014 IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) Proceedings (pp. 299–303). https://doi.org/10.1109/INISTA.2014.6873634

Google Inc. (2017). Google Maps. Recuperado el 2 de septiembre de 2017, a partir de https://www.google.com/maps/

Kobayashi, H. (2015). A personal localization system using self-contained 2D barcode landmarks. En 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) (pp. 882–887). https://doi.org/10.1109/ISIE.2015.7281587

Kontakt.io. (s/f). iBeacon vs Eddystone. Recuperado el 19 de septiembre de 2016, a partir de https://kontakt.io/beacon-basics/ibeacon-and-eddystone/

Moovit Inc. (2016). Moovit: Your Local Transit App – iOS, Android & Windows. Recuperado el 2 de septiembre de 2016, a partir de http://moovitapp.com/

Nasim, R., & Kassler, A. (2012). Distributed Architectures for Intelligent Transport Systems: A Survey. En 2012 Second Symposium on Network Cloud Computing and Applications (NCCA) (pp. 130–136). https://doi.org/10.1109/NCCA.2012.15

Nkoro, A. B., & Vershinin, Y. A. (2014). Current and future trends in applications of Intelligent Transport Systems on cars and infrastructure. En 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 514–519). https://doi.org/10.1109/ITSC.2014.6957741

Palumbo, F., Barsocchi, P., Chessa, S., & Augusto, J. C. (2015). A stigmergic approach to indoor localization using Bluetooth Low Energy beacons. En 2015 12th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS) (pp. 1–6). https://doi.org/10.1109/AVSS.2015.7301734

Ram, S., Wang, Y., Currim, F., Dong, F., Dantas, E., & Sabóia, L. A. (2016). SMARTBUS: A Web Application for Smart Urban Mobility and Transportation. En Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web (pp. 363–368). Republic and Canton of Geneva, Switzerland: International World Wide Web Conferences Steering Committee. https://doi.org/10.1145/2872518.2888613

Santos, M., Pereira, R. L., & Leal, A. B. (2012). GBUS - Route GeoTracer. En 2012 First International Workshop on Vehicular Traffic Management for Smart Cities (VTM) (pp. 1–6). https://doi.org/10.1109/VTM.2012.6398697

Stockx, T., Hecht, B., & Schöning, J. (2014). SubwayPS: Towards Smartphone Positioning in Underground Public Transportation Systems. En Proceedings of the 22Nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (pp. 93–102). New York, NY, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2666310.2666396

Sungur, C., Babaoglu, I., & Sungur, A. (2015). Smart Bus Station-Passenger Information System. En 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE) (pp. 921–925). https://doi.org/10.1109/ICISCE.2015.209

Transit App, Inc. (2016). Transit. Recuperado el 7 de febrero de 2017, a partir de http://transitapp.com/

Verma, R., Shrivastava, A., Mitra, B., Saha, S., Ganguly, N., Nandi, S., & Chakraborty, S. (2016). UrbanEye: An outdoor localization system for public transport. En IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications (pp. 1–9). https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2016.7524393

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.135 - 147
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363

Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Desarrollo de Arquitectura Empresarial usando un Framework con Enfoque Agil

(Development of Enterprise Architecture using a Framework with Agile Approach)

Fanny Sandoval[1], Víctor Galvez[1], Oswaldo Moscoso[1]

Resumen:
El desarrollo de una arquitectura empresarial (AE) en grandes organizaciones es muy complejo. Por lo tanto, es importante que la implementación de la AE cree valor en etapas tempranas del proceso para que los directivos apoyen esta iniciativa. Este documento presenta el diseño de un framework de AE que permite el desarrollo de arquitecturas con un enfoque ágil basado en TOGAF. Esta propuesta se la hace con el objetivo de agilizar el proceso de AE. Este framework plantea un nuevo diseño tomando en cuenta el marco regulatorio vigente, la línea destino de la organización y los principios propuestos por el enfoque ágil de AE. Los objetivos de cada etapa del método de desarrollo de arquitecturas ADM de TOGAF se cruzan con los requerimientos de la organización para extraer únicamente aquellos que se ajustan al giro del negocio. Se analiza los entregables propuestos por TOGAF con el fin de obtener, integrar y reducir la documentación en las fases de implementación y modelamiento, permitiendo mayor agilidad, menor impacto en los procesos, disminución en tiempos de desarrollo y costos.

Palabras clave: Arquitectura Empresarial; TOGAF; ADM; Enfoque Ágil; Estrategia Empresarial.

Abstract:
The development of an enterprise architecture (EA) in large organizations is complex. Thus, is important that the implementation of EA creates value in early stages of the process. This document contains a proposal of an EA framework design with agile approach based in TOGAF. This proposal is done with the objective to streamline the EA process. This framework presents a new design taking into account the current regulations, the target line of the organization and the principles proposed by the agile approach of EA. The objectives of each phase of the architecture development method ADM of TOGAF are matched with the requirements of the organization to extract only those that are aligned to the business. The deliverables proposed by TOGAF are analyzed with the goal to obtain, integrate and reduce the documentation in the implementation and modeling phases. This reduction allows more flexibility, less impact in the processes, reduction in development time and costs.

Keywords: Enterprise Architecture; TOGAF; ADM; Agile Approach; Enterprise Strategy.

1. Introducción

Una organización es competitiva cuando sus componentes fundamentales están bien estructurados y cohesionados entre sí y con el ambiente (Koontz, Weihrich, & Cannice, 2012). En la actualidad muchas organizaciones disponen de tecnologías de información que no están alineadas a los procesos, a los datos y a la planificación estratégica del negocio, otras disponen de sistemas legados de finanzas, compras, ventas, logística, recursos humanos, gestión de clientes. Esto

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial Quito – Ecuador ({fanny.sandoval, vhgalvez, omoscoso}@ute.edu.ec)

impide que estas entidades sean flexibles y ágiles. Consecuentemente estas instituciones no pueden adaptarse rápidamente a los cambios en el mercado y en el escenario global y político.

Es frecuente encontrar en cada unidad o departamento de una organización un centro de TI que atiende los requerimientos específicos de esa área, con sus propios estándares, marco regulatorio, entre otros, causando graves problemas en la gobernabilidad tecnológica, gastos onerosos y altos riesgos relacionados con los cambios.

En la actualidad la supervivencia de las organizaciones y su competitividad, depende de la globalización y de una nueva concepción económica que pretende: 1) Alcanzar un crecimiento inteligente, cuyo objetivo es desarrollar una economía fundamentada en el conocimiento y en la innovación, 2) Un crecimiento integrador que se basa en crear un alto nivel de empleo con cohesión social y territorial y 3) Un crecimiento sostenible, que se fundamenta en el uso eficaz de los recursos, que sea más competitiva y consciente de su responsabilidad con el medio ambiente (Regional, 2011).

Por lo tanto, las empresas deben adoptar nuevas formas organizativas, optimizar los recursos, establecer políticas y mejores prácticas con los clientes y facilitar la interoperabilidad de las tecnologías de código abierto. Para que las organizaciones puedan responder a estos desafíos ha surgido una nueva práctica llamada Arquitectura Empresarial (AE), que es una metodología con una visión integral de la organización, permite alinear procesos, datos, aplicaciones e infraestructura tecnológica con los objetivos estratégicos de la organización.

Arquitectura Empresarial es una práctica estratégica continua dentro de la organización con objetivos bien definidos, que permite conectar todos los componentes de una empresa, apalancándose en la tecnología. Para llevarla a cabo existen diferentes marcos de trabajo o frameworks que ofrecen directrices y guías para el desarrollo e implementación de estrategias de AE en las organizaciones (Gonzáles & Álzate, 2010). Cada framework tiene su propia estructura, estrategia y modelos de AE.

Los frameworks empresariales más utilizados en el mundo son TOGAF y Zachman, pero difieren en el enfoque, composición y los términos de referencia. Zachman es un framework estructural y estático, es un esquema para organizar y categorizar. No tiene una metodología ni un modelo de referencia, por lo que su implementación es difícil.

Por otro lado TOGAF (The Open Group Architecture Framework) al ser un framework más liviano de implementar ayuda a reducir los costos, incrementar la calidad, identificar oportunidades y mejorar funcionalmente las aplicaciones. Además, reduce el riesgo, ya que identifica los objetivos de negocio y los involucrados en los diferentes dominios de arquitectura. Al mismo tiempo TOGAF es más práctico para crear una amplia variedad de

arquitecturas empresariales sólidas, razón por la cual se toma como base para la realización de esta propuesta.

Consecuentemente el objetivo del presente trabajo es desarrollar un marco de trabajo de AE con enfoque ágil basado en TOGAF. TOGAF es uno de los frameworks más utilizados para planificar, diseñar, evaluar e implementar AE en una organización. Por otro lado, el enfoque ágil no determina un procedimiento detallado de cómo crear un tipo de modelo específico, sino que sugiere prácticas de modelado efectivo (Ambler P. S., 2002).

2. TOGAF

TOGAF es un framework abierto que comprende métodos y herramientas para la creación de Arquitecturas Empresariales (Ver *Figura 1*). Fue desarrollado en colaboración de un conjunto de empresas y agencias gubernamentales.

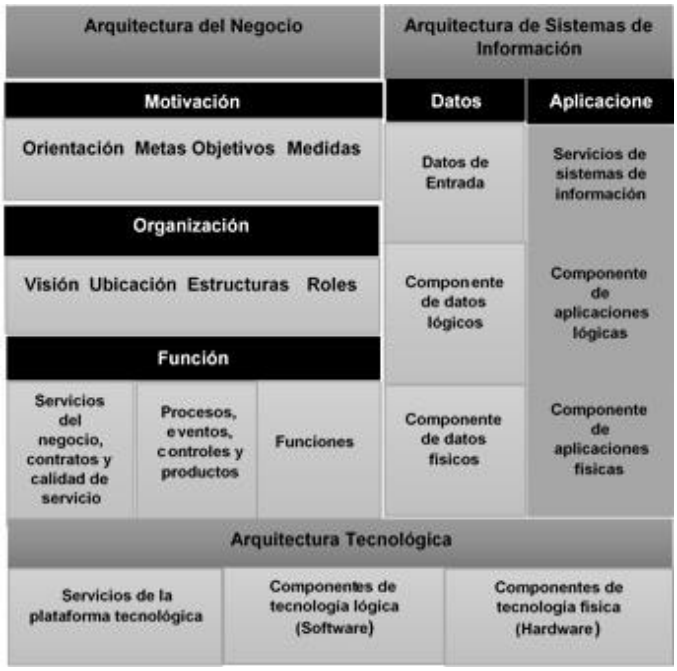


Figura 1. Capas de Arquitectura Empresarial

Se basa en un modelo iterativo respaldado por las mejores prácticas y un conjunto reutilizable de activos arquitectónicos existentes (Group, 2011), contiene tres dominios:

- Arquitectura de Negocios: Determina las estrategias de negocios, organización, gobernanza y procesos claves del negocio.
- Arquitectura de Sistemas de Información: comprende arquitectura de aplicaciones que detalla las aplicaciones existentes del negocio y sus iteraciones. Además, comprende la arquitectura de datos que determina cómo administrar los datos del negocio.

- Arquitectura de Tecnología: Describe los componentes de hardware, software, comunicaciones y de redes que requiere el núcleo del negocio.

Maneja los siguientes componentes: Método de Desarrollo de Arquitectura (ADM), Continuum Empresarial y Repositorio de la Arquitectura. Tiene muchas ventajas entre las que se encuentran reducción de costos y reducción de riesgos; además:

- Permite identificar oportunidades.
- La empresa es más flexible y adaptable.
- Asegura que todos los involucrados hablen el mismo idioma.

El Método de Desarrollo de Arquitectura (ADM), es un conjunto de guías y técnicas para desarrollar AE. Es un método confiable que asegura el manejo adecuado de los requerimientos.

Figura 2. TOGAF V. 9.1.1 (Bricknal, Darrell, Nilsson, & Pessi, 2011)

El ADM está constituido por varias fases como se puede apreciar en la *Figura 2*, las mismas que se desplazan a través de los dominios de la arquitectura, siendo éstas:

Fase Preliminar: Es una de las fases más críticas ya que se determina el ámbito del negocio que abarca la AE. Se define el alcance del proyecto y la estructura de gobernanza.

Fase A: Visión de la Arquitectura: esta es la primera fase de la arquitectura, en dónde se identifica las partes interesadas, sus expectativas y los requerimientos del negocio. La gerencia define las limitaciones y la visión de AE.

Fase B: Arquitectura de Negocio: en esta fase se determina la estructura de la organización, los procesos, los objetivos de negocio, sus funciones, servicios y sus roles.

Fase C: Arquitectura de Sistemas de Información: determina los sistemas de información de la organización, las aplicaciones que los procesan, las relaciones entre ellos y con el ambiente, al igual que los procesos que gobiernan su diseño y evolución.

Fase D: Arquitectura Tecnológica: define el hardware, protocolos, sistemas de soporte para desarrollar los sistemas de información y tecnología de comunicaciones.

Fase E: Oportunidades y Soluciones: elabora el plan de implementación y se especifica cómo se va a realizar. Se decide si se debe: construir, comprar o reusar.

Fase F: Planeación de la Migración: se realiza un plan de migración detallado con un análisis costo/beneficio y un diagnóstico de los riesgos.

Fase G: Gobierno de la Implementación: se supervisa la implementación de la arquitectura para que cumpla con las especificaciones, normas y políticas.

Fase H: Gestión de Cambios de la Arquitectura: gestiona el cambio de la arquitectura de manera integrada e inteligente.

Gestión de Requerimientos: se identifica y gestiona los requerimientos al inicio y al final de cada fase del ADM

3. Enfoque ágil

Los marcos de trabajo existentes de Arquitectura Empresarial son muy amplios (Bricknal, Darrell, Nilsson, & Pessi, 2011). Por lo tanto, no ofrecen ni la flexibilidad, ni la velocidad de entrega que las organizaciones requieren. Además, su desarrollo y puesta en marcha se fundamenta en fases y cada una de ellas tiene varios entregables. Esto implica un extenso tiempo de implementación que contradice a los principios de agilidad que exige el vertiginoso desarrollo de las TIC y los requerimientos del mercado.

Las organizaciones deben optimizar sus procesos para proporcionar productos y servicios de óptima calidad en el menor tiempo al mercado nacional e internacional (Blom, 2003). Por otra parte, están sujetas a cambios por la innovación digital, cloud computing, inteligencia del negocio, aplicaciones móviles, entre otros. Para poder gestionar los cambios de forma adecuada se necesita de un enfoque ágil (Ver *Figura 3*). Las características del enfoque ágil son las siguientes (Ambler S. , 2002):

- El trabajo se lo realiza en equipos motivados y la comunicación es cara a cara, analizando regularmente como ser más eficientes.
- Pone énfasis en la satisfacción de los clientes entregando los productos con valor en forma oportuna y continua.
- Mejorar la contribución de TI para alcanzar el ROI que las organizaciones requieren.

- Aplicar los artefactos correctos para modelar en pequeños incrementos reutilizando los recursos existentes.
- Valorar a las personas e interacciones sobre los procesos y las herramientas.
- Mantener la AE simple. El modelado y la documentación tiene que ser únicamente lo necesario.
- Tener una visión completa de los pilares de la AE.

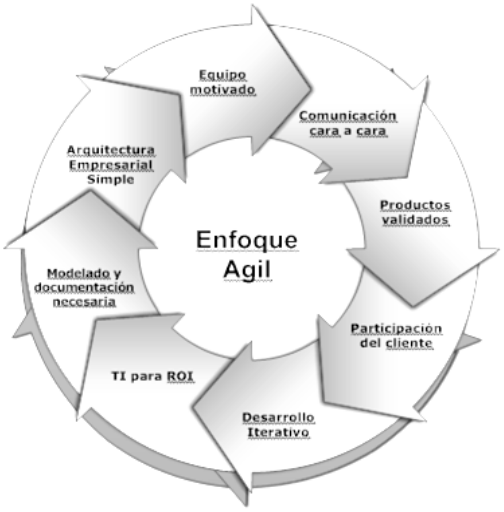


Figura 3. Proceso de Desarrollo Ágil orientado por el modelado

Principios ágiles resumidos:

Interacción: La interacción se manifiesta entre los diferentes actores de la Arquitectura Empresarial y de éstos con los clientes, los diseñadores trabajan en diferentes módulos y luego los integran con la retroalimentación de los clientes.

El cliente interactúa desde su sitio de trabajo y por medio de reuniones de trabajo permanentes se genera una retroalimentación, lo que le permite conocer lo que se realizó, qué problemas se presentaron y las actividades a realizarse.

Simplicidad: La arquitectura empresarial modelada y documentada tiene que ser justo lo que se necesita y a la vez ser susceptible a cambios continuos. Mantener estos artefactos lo más simples posible facilitará la comunicación con los stakeholders.

- El contenido es más importante, no importa el soporte físico o la técnica de representación.
- El cambio debe ser incremental.
- Producir sólo el modelo que resulte suficiente para el propósito.
- Maximizar la inversión del cliente.
- Modelos múltiples, múltiples paradigmas en convivencia, según se requiera.

Retroalimentación: Trabajar iterativa e incrementalmente. Se propone la utilización de técnicas de modelado ágiles como “Aplicar el artefacto correcto”, “Iterar a otro artefacto”, “Crear varios modelos en paralelo” y “Modelar en pequeños incrementos” a la hora de modelar.

Respuesta al cambio: En un mundo globalizado nada permanece estático y las organizaciones pueden mantenerse competitivas gracias a la Arquitectura Empresarial Ágil, ya que ésta es intuitiva y ofrece agilidad, escalabilidad, y calidad requerida por los clientes.

El análisis del impacto de los cambios permitirá priorizar los proyectos que proporcionen mayor valor a la organización, además facilitará la implementación de nuevos modelos de negocios confiables y oportunos, lo que ocasionará una reducción de los costos.

En conclusión, se debe cumplir con todos los principios propuestos por el manifiesto ágil, los mismos que se pueden sintetizar en la *Tabla 1*:

Tabla 0. Principios del manifiesto ágil

Interacción	Las personas y su interacción por sobre las herramientas Y los procesos.
Simplicidad	La funcionalidad sobre la documentación excesiva
Retroalimentación	La colaboración con el cliente por sobre la negociación contractual
Respuesta al cambio	La respuesta al cambio por sobre el seguimiento de un plan

4. Diseño del framework

El diseño de este framework se basó en una investigación cualitativa y exploratoria a través de un caso de estudio desarrollado los departamentos de investigación de dos instituciones de educación superior. Los pasos validados de diseño son los siguientes:

A. Primer paso

El diseño del framework comienza con la definición de los requerimientos de los stakeholders de la organización de acuerdo al giro del negocio, en base a tres premisas:

- Los fundamentos del enfoque ágil de AE que se ajusten al modelo del negocio y a la visión de la organización, lo que permitirá que el nuevo framework sea simple, describa lo que sucede en la empresa y en su entorno. Además que el arquitecto empresarial que tenga una capacidad de respuesta rápida ante los cambios y se adapte con facilidad a cualquier nueva tendencia en el mercado.
- El marco legal de la organización y del ámbito de influencia del mismo.
- La línea destino de la organización la misma que se basa en la misión y visión de la organización. La base del diseño del nuevo framework es TOGAF, ya que ofrece una

Metodología de Desarrollo de Arquitecturas o ADM, el cual proporciona un método probado y repetible para desarrollar Arquitecturas Empresariales.

B. Segundo paso

Para diseñar el framework se utiliza una matriz de cruce (*Tabla 2*). En está matriz los objetivos generales y específicos de cada fase del ciclo del método de desarrollo de arquitecturas ADM de TOGAF (Ver *Figura 2*) se cruzan con los requerimientos definidos en el primer paso, con el fin de:

- Eliminar los objetivos que no se cruzan con los requerimientos.
- Unificar los que tienen características comunes dentro de una misma fase.

Tabla 2. Cruce de requerimientos y objetivos específicos de las fases del ADM

		TOGAF – NOMBRE de la FASE – OBJETIVO No X			
Objetivos específicos / **Requerimientos**					
Enfoque ágil	**Interacción**				
	Simplicidad				
	Retroalimentación				
	Respuesta al cambio				
Marco legal					
Línea Destino					

En la *Tabla 3* se ejemplifica el cruce de los requerimientos con los objetivos específicos del objetivo “Determinar las Capacidades Arquitectónicas deseadas por la organización”. Este objetivo corresponde a la **Fase Preliminar** del ADM.

Tabla 3. Cruce de los requerimientos con los objetivos específicos del primer objetivo de la fase Preliminar del ADM

	FASE PRELIMINAR **Determinar las Capacidades Arquitectónicas deseadas por la organización**			
Objetivos específicos / Requerimientos	Examinar el contexto organizacional para llevar a cabo Arquitectura Empresarial	Identificar y determinar el alcance de los elementos en las áreas de la empresa que serán afectadas por la capacidad	…….	Establecer el objetivo de Madurez de las Capacidades

			arquitectónica		
Enfoque ágil	Interacción		Consultar con involucrados		
	Simplicidad	Tomar la documentación existente			
	Retroalimentación	Contacto inicial con directivos	Colaboración del cliente		
	Respuesta al cambio				
Marco legal		Constitución de la República Reglamentos internos			
Línea Destino		Misión Visión	Planificación estratégica del negocio		

C. Tercer paso

En el tercer paso se analiza los entregables de cada fase propuestos por TOGAF. Un resumen de los entregables propuestos de acuerdo a cada fase del ADM se puede observar en la *Tabla 4*. La *Tabla 5* por otro lado muestra un análisis de lo que implica la realización de los entregables. El detalle completo de los entregables se los puede observar en el libro de TOGAF.

Tabla 4. Entregables de cada fase de TOGAF

	Entregable	**Fases del ADM**
1	Marco de Referencia de Arquitectura Adaptado	Preliminar
2	Modelo organizacional de Arquitectura Empresarial	Preliminar
	. . .	
8	Declaración de Trabajo de Arquitectura	A
9	Visión de la Arquitectura	A
13	Evaluación de Capacidades	A
14	Gestión de Riesgos	A
15	Documento de Definición de Arquitectura	A,B,C,D
30	Solicitudes de Cambio	G,H
31	Evaluación de Conformidad	G,H
32	Evaluación del Impacto de los Requerimientos	H

Tabla 5. Análisis de Entregables

DESCRIPCIÓN	ANÁLISIS
1. Marco de Referencia de Arquitectura Adaptado	
Se encarga de adaptar el modelo TOGAF para la integración a la empresa.	El presente proyecto, reformula el framework para ser adaptado.
2. Modelo organizacional de Arquitectura Empresarial	
Define la organización, roles y las responsabilidades apropiadas dentro de la empresa.	Se conserva.
. . . .	
32. Evaluación del Impacto de los Requerimientos	
Evalúa los requerimientos y especificación actual de arquitectura para identificar los cambios que se deben hacer y las consecuencias derivadas de su introducción	Es necesaria, se conserva.

Como se pude observar, algunos entregables pueden ser omitidos, ya que salen del alcance del proyecto, o porque pueden ser fusionados con otros entregables. En el caso de estudio realizado de 32 entregables sugeridos por TOGAF se redujo a 19 entregables de acuerdo al enfoque ágil propuesto en este trabajo. Un ejemplo de esta reducción se muestra en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Resumen de los entregables luego de la reducción

No	Entregable	Incluye	Fase que se utiliza
1	Estudio preliminar	1.1 Modelo organizacional de AE 1.2 Principios de Arquitectura 1.3 Repositorio de Arquitectura 1.4 Herramientas de Arquitectura	Preliminar
2	Petición de Trabajo de Arquitectura		Preliminar
3	Declaración de Trabajo de Arquitectura	3.1 Declaración de Trabajo de Arquitectura y Visión de la Arquitectura	A
. . . .			
18	Evaluación de Conformidad		G,H
19	Evaluación del Impacto de los Requerimientos		Gestión de Requerimientos

D. Cuarto paso

Con el fin de tener mayor simplicidad y agilidad en el desarrollo de la AE, los entregables resultantes del análisis del tercer paso se cruzan con los objetivos de las fases del ADM que quedaron en el segundo paso (luego de eliminar aquellos objetivos que no coincidían con los requerimientos). De esa forma la AE se enfoca únicamente en realizar las tareas que vayan de acuerdo a los entregables que están dentro del alcance del proyecto y de los objetivos de la organización.

E. Quinto paso

En el quinto paso se detalla los objetivos y entregables que se obtuvieron de la simplificación realizada en los pasos anteriores. Los pasos del diseño fueron validados como caso de estudio en una institución de educación superior. Una muestra del resultado de la aplicación del framework y la reducción e integración realizada en la fase preliminar se muestra a continuación:

FASE PRELIMINAR

Objetivos

- **Determinar las capacidades arquitectónicas deseadas por la organización**
  a) Examinar el contexto organizacional para llevar a cabo AE
  b) Identificar y determinar el alcance de los elementos en las organizaciones que serán afectadas por la capacidad arquitectónica
  c) Identificar los marcos de referencia establecidos, los métodos y los procesos que se entrecruzan con la capacidad arquitectónica
- **Establecer las Capacidades Arquitectónicas**
  a) Definir y establecer el modelo organizacional de AE.
  b) Definir y establecer el proceso detallado, los recursos y las herramientas para el gobierno de la arquitectura
  c) Definir los principios de arquitectura

Entregables: 1, 2

5. Conclusiones y discusión

Esta metodología simplifica la definición y el desarrollo de arquitecturas, además permite a la organización realizar la transferencia de la tecnología, gestionar adecuadamente los proyectos y contar con indicadores de desempeño y reconocimiento.

Este framework con enfoque ágil, es una metodología de mejora continua a mediano plazo. La organización que implemente este framework, estará en capacidad de aprovechar las oportunidades que presenta el mercado y el desarrollo tecnológico. Un framework de AE que usa el enfoque ágil permite:

- Usar en forma efectiva los recursos, lo que se traduce en un ahorro importante para la organización.
- Responder eficientemente a los retos y oportunidades que presenta el mercado, los cambios tecnológicos y cualquier otra circunstancia planificada o inesperada.
- Estandarizar y mejorar procesos del negocio y de TI.
- La AE es proactiva ya que identifica oportunidades de integración y de reutilización de aplicaciones y recursos en toda la organización
- Contar con indicadores para la toma de decisiones.
- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Manejar cambios organizacionales, restructuraciones, fusiones y adquisiciones.
- El enfoque ágil en AE es un proceso en el que se aplican un conjunto de buenas prácticas para trabajar colaborativamente, en equipo, y obtener el mejor resultado de un proyecto.

A pesar de que las perspectivas de mejora en tiempos y calidad de implementación de arquitecturas empresariales usando el framework propuesto son altas, sería importante aplicarlo en diferentes tipos de instituciones para poder valorar su aplicabilidad en un contexto global.

Bibliografía

Ambler, P. S. (2002). *Modelado Ágil (AM) Valores Principios Prácticas.*

Ambler, S. (2002). *Agile Modeling: Effective Practices for eXtreme Programming and the Unified Process.*

Blom, A. C. (2003). *Enterprise Modernization* (Vol. 7), No. 2, 2003.

Bricknal, R., Darrell, G., Nilsson, H., & Pessi, K. (2011). *Enterprise Architecture: Critical Factors affecting modelling and management.*

Gonzáles, E., & Álzate, J. (2010). *Frameworks de Arquitectura Empresarial.* Retrieved Aug 20, 2016, from https://arquitecturaempresarialcali.wordpress.com/2010/11/16/frameworks-de-arquitectura-empresarial/

Group, T. O. (2011). *TOGAF ® Version 9.1.* Retrieved from http://goo.gl/djuv15.

Koontz, H., Weihrich, H., & Cannice, M. (2012). *Administración una Perspectiva Global y Empresarial.* Mc Graw Hill 14ava ed..

Regional, U. E. (2011). *Alcanzar un crecimiento inteligente, sostenible e integrador* (Vol. 36). Panor. Inforegio. No. Vol 36, 2011

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.148 - 159
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Sistemas basados en conocimiento como herramienta de ayuda en la auditoría de sistemas de información

(Knowledge based systems as an aid in information systems audit)

Rodrigo Arturo Proaño Escalante[1], Ciro Napoleón Saguay Chafla[2], Segundo Bolívar Jácome Canchig[3], Fanny Sandoval Zambrano[4]

Resumen:
Uno de los problemas que tiene el auditor informático al emitir una opinión sobre un hallazgo es la subjetividad que puede deberse a muchos aspectos, entre los principales: emocionales, capacidades o habilidades técnicas con lo cual esta opinión puede ser acertada o errada. Este es un problema importante debido a que el informe de auditoría emitido puede tener distorsiones de la realidad de los hechos. Por otro lado, el desarrollo de los sistemas expertos implica capturar el conocimiento del humano y trasladarlo a un programa de computador en el cual se emulen todas las características de este conocimiento y considerando un grupo de reglas, el sistema pueda tomar decisiones como lo haría un humano. Los avances de la inteligencia artificial en los últimos años, ofrecen que el desarrollo de estos sistemas basados en conocimiento sea cada vez mayor y los resultados obtenidos sean más reales. El uso de estos sistemas presenta un futuro bastante prometedor en el campo de la auditoría informática. El objetivo de este artículo es dar una idea general de la caracterización y uso de los sistemas basados en conocimiento, la forma como están implementados y su aplicación a la auditoría de sistemas de información como herramienta de ayuda a la emisión de opinión al momento de realizar una auditoría.

Palabras clave: auditoria de sistemas; sistemas basados en conocimiento; sistemas expertos.

Abstract:
One of the problems that the IT auditor has when expressing an opinion about a finding is the subjectivity that can be due to many aspects, among the main ones: emotional, technical skills or abilities with which this opinion can be right or wrong. This is a major problem because the audit report issued may have distortions of the facts. On the other hand, the development of the expert systems involves capturing the knowledge of the human and transferring it to a computer program in which all the characteristics of this knowledge are emulated and considering a group of rules, the system can make decisions as a human does. Advances in artificial intelligence over the last few years have led to the development of these knowledge-based systems increasing and the results obtained are more real. The use of these systems presents a promising future in the field of computer audit. The objective of this article is to give a general idea of the characterization and use of knowledge based systems, the way they are implemented and their application to the audit of information systems as a tool to help the opinion issue at the moment of realization of an audit.

Keywords: audit systems; knowledge based systems; expert systems.

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (rodrigo.proano@ute.edu.ec)
[2] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (csaguay@ute.edu.ec)
[3] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (sbolivar.jacome@ute.edu.ec)
[4] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (fanny.sandoval@ute.edu.ec)

1. Introducción

En la actualidad, se vive en una sociedad donde cada vez se hace más evidente el uso de las tecnologías de información en todo ámbito. Los sistemas tecnológicos según Moeller (2010) se han vuelto cada vez más complejos y por ende requieren de profesionales expertos que tengan un amplio conocimiento de una gran variedad de tecnologías de información.

En las empresas el uso de sistemas de información computarizados se ha vuelto una práctica común, y por ende los riesgos en los mismos se han multiplicado volviéndose necesaria la auditoría de estos sistemas tecnológicos, proceso que es efectuado por auditores especializados. Pero no solo es el conocimiento lo que debe caracterizar al auditor; otros aspectos a tomar en cuenta según Granados (2016) son:

- Astucia para identificar aspectos claves para encontrar inconsistencias en los procesos que se están auditando.
- Creatividad para el cumplimiento de sus actividades.
- Inteligencia para una adecuada toma de decisiones.
- Honestidad para el desarrollo de sus actividades.
- Confidencialidad en el manejo de la información a la que tiene acceso.
- Organización para un trabajo sistemático y meticuloso.

Por otro lado, el concepto de auditoría según Piattini (2001) es emitir de una opinión de tipo profesional de un objeto en análisis que muestre correctamente la realidad que pretende reflejar. La auditoría informática a opinión de Echenique (2001) trata sobre la salvaguarda de los activos de los sistemas de computadoras, considerando algo importante como la integridad de los datos para de esta manera alcanzar los objetivos organizacionales de forma eficiente. Bajo este contexto, al hablar de activos de computadoras, se considera hardware, software, datos, entre otros, con lo cual el horizonte de cobertura de la auditoría informática se amplía sustancialmente. Por tanto al conjugar estos elementos y pretender dar una opinión razonable sobre su realidad, se puede caer en contradicciones o ambigüedades según el punto de vista del auditor.

La Inteligencia Artificial (IA) tiene aplicación en muchos aspectos del vivir diario, por ejemplo cuando se le da una orden verbal a algún dispositivo para realizar alguna acción, un sistema inteligente interpreta la orden, la reconoce y la ejecuta. Así se puede ver la utilidad y aplicabilidad de la IA a través de técnicas especiales como son los sistemas basados en conocimiento y sistemas expertos, en los cuales se incorpora el conocimiento de los auditores informáticos experimentados que, sumado a los hechos y evidencias encontradas para un problema en particular dan una respuesta acorde y objetiva a la realidad del objeto auditado.

En este escenario, el propósito es eliminar la subjetividad al momento de analizar los hechos y que la opinión se ajuste adecuadamente a la realidad presente. Es en este sentido que según Agarwal (2014) se recurre a la inteligencia artificial para hacer máquinas o computadoras que puedan pensar y se comporten como un humano, en especial el uso de los Sistemas Basados en Conocimiento (SBC).

En este artículo se hace una descripción del funcionamiento de los sistemas basados en conocimiento, las metodologías usadas para su desarrollo y la aplicación de los mismos en la auditoría informática.

2. Materiales y Métodos

2.1. Sistemas basados en conocimiento

Los SBC según Palma y Marín (2008) presentan entre otras las siguientes propiedades fundamentales:

- Aplicables a problemas complejos que requieren excesivos recursos computacionales o temporales.
- Pueden ser utilizados por usuarios no expertos.
- Recrean el razonamiento humano.
- Representan el conocimiento humano, el cual si bien es difícil de caracterizarlo, una vez almacenado y procesado adecuadamente se constituye en algo invaluable.

2.2. Elementos del SBC

Según García (2013), una técnica de IA es el razonamiento basado en conocimiento, que conlleva a los SBC, que a diferencia de cualquier programa convencional en el cual para una misma entrada se produce siempre la misma salida en función del algoritmo utilizado, este tipo de sistemas hace uso de una base de conocimientos, la cual contiene información almacenada sobre un problema en particular, normalmente proporcionada por un experto (en este caso el auditor informático) y un motor de inferencia que es el encargado de razonar sobre soluciones posibles para el problema planteado a través de búsquedas de información en la base de conocimientos, con lo cual se lograría emitir una conclusión razonable comparable al pensamiento de un humano. En las siguientes secciones se explican los principales elementos que componen un SBC.

2.2.1. Base de conocimiento

La base de conocimiento contiene el conocimiento sobre un determinado problema en el cual el sistema es experto, esta base almacena una representación de los conceptos y relaciones de las

tareas. Este conocimiento según Montoya (2014) se representa normalmente usando lógica de predicados o lógica proposicional, los elementos que constituyen el conocimiento se clasifican en hechos, heurísticas y reglas.

2.2.1.1. Hechos

Un hecho es una expresión que normalmente tiene asociado un valor verdadero y que se le puede ver como una expresión de la forma *Si* - condición *entonces* –enunciado. Por Ejemplo:

- *Si no existen respaldos entonces hay riesgo de pérdida de información.*

2.2.1.2. Heurística

La heurística, es la forma de llegar a una solución por métodos no rigurosos en este caso, la heurística resulta de la experiencia obtenida del auditor al momento de tomar una decisión y las reglas o relaciones que vinculan los hechos. En la práctica no existe una única heurística, en circunstancias similares ante evidencias similares de un hallazgo la decisión puede ser diferente por algún elemento que permita direccionar esta decisión, esto hace la diferencia con un programa computacional tradicional en el cual a entradas iguales o similares produce siempre las mismas salidas.

2.2.1.3. Reglas

Las reglas desde el punto de vista de la lógica de predicados hacen referencia a la reglas de inferencia lógica, según Palma (2008) son *modus ponens* y *generalización universal*.

2.2.2. Motor de inferencia

El motor de inferencia según Palma (2008) explora la base de conocimiento con el propósito de obtener una salida. En este motor se implementa el método de resolución del problema que utilizando los hechos, las reglas y las heurísticas, decide las acciones a tomar para llegar a una solución.

2.2.3. Interfaz

Evidentemente para que el SBC pueda interactuar con el usuario, es necesario dotarlo de la respectiva interfaz de entrada/salida.

Un elemento adicional que no siempre está presente en un SBC es una interfaz de aprendizaje o entrenamiento por medio de la cual se puede alimentar en forma directa la base de conocimiento con instrucciones propias de los usuarios, normalmente expertos o de retroalimentación de las salidas del sistema.

Este tipo de SBC se utiliza para la resolución de problemas donde por la complejidad de los mismos, no es posible utilizar las técnicas convencionales de programación debido a que el esfuerzo y el consumo de recursos son representativos en tiempo, memoria y procesamiento.

La *Figura 1* muestra los componentes básicos de un SBC.

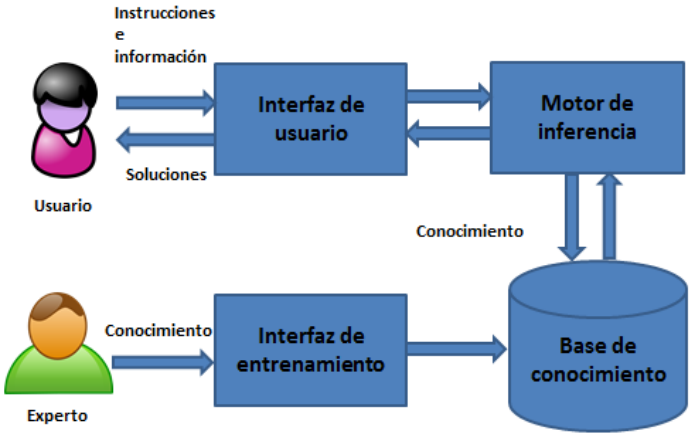


Figura 1. Esquema general de los elementos que forman el SBC.

2.3. Metodologías para el desarrollo de sistemas basados en conocimiento

El problema de desarrollar SBC ha sido tratado con el uso de distintos métodos, según Palma (2008), se puede mencionar algunos de ellos:

DENDRAL que fue utilizado a finales de los años sesenta por Buchanan y otros y que para la interpretación de espectrogramas de masas usaba el conocimiento heurístico de los expertos, puede ser considerado el primer sistema inteligente y su aporte ha sido muy importante al desarrollo de estos modelos. Este sistema ha sido usado por biólogos y químicos por más de 10 años para evaluar aspectos reales.

MYCIN desarrollado en 1984 por Buchanan y Shotliffe empleado para diagnóstico médico. Es considerado el primer sistema experto desarrollado como ayuda para la investigación y diagnóstico de enfermedades infecciosas de la sangre.

XCON/R1 propuesto por McDermott, Barker y O´Conner en 1989. Es un sistema de producción basado en reglas usado por la empresa DEC como herramienta de ayuda para la selección de los componentes de los sistemas de computación solicitados por los clientes.

KADS por Wielinga y otros en 1992. Que considera el desarrollo de los SBC como una actividad de modelado con comportamientos que pueden observarse de fenómenos del mundo real.

El aporte de todos estos modelos ha sido significativo en el desarrollo de los SBC en la medida en que han establecido los lineamientos básicos para la formulación y construcción de este tipo de

sistemas, los cuales como se puede evidenciar tienen aplicación en todos los ámbitos organizacionales.

En los últimos años surgen algunos modelos basados en metodologías de desarrollo en espiral las cuales proponen el desarrollo del sistema en ciclos que contiene las siguientes etapas:

1. Definición de objetivos.
2. Valoración de riesgos.
3. Desarrollo del SBC.
4. Planificación para un nuevo ciclo de depuración.

Bajo estos puntos de vista, surgen algunas metodologías utilizadas recientemente como lo explica Palma (2008):

KSM (Knowledge Structure Manager), metodología resultado del grupo de investigación ISYS (Intelligent Systems) del Departamento de Inteligencia Artificial de la Universidad Politécnica de Madrid que según Henao (2001) se enfoca en identificar los modelos de entendimiento que pueden ser computables en el problema a solucionarse.Tiene como característica el uso de modelos genéricos que pueden ser reutilizados sin mucha dificultad.

CommonKADS, que según Chávez (2015), es una mejora de la tecnología KADS (Knowledge Acquisition and Design Structuring), la cual según Henao (2001) ha sido desarrollada en las universidades de Amsterdam, Países Bajos y Bruselas como parte del proyecto europeo SPRIT. en el Departamento de Inteligencia Artificial de la Universidad Politécnica de Madrid.

Esta metodología según Giraldo (2015) es diseñada para el análisis y construcción de SBC. Considera 3 niveles para el desarrollo de un SBC, los cuales permiten manejar el conocimiento y la información de un sistema en el entorno organizacional. Cada nivel a su vez incorpora modelos los cuales utilizan ciertos formularios para capturar en forma detallada las actividades, procesos, información y el conocimiento de la organización. El detalle de cada nivel con sus modelos según Giraldo (2015) es el siguiente:

1. Nivel de Contexto: nivel en el cual se analiza la organización, tiene tres modelos:
    1.1. Modelo de organización (OM), permite analizar la organización, a través de esta herramienta se puede identificar problemas y oportunidades de mejora con el uso del SBC que se pretende introducir.
    1.2. Modelo de tareas (TM), describe en forma general las tareas que son realizadas o las nuevas tareas que van a realizarse dentro de la organización en la cual va a instalarse el SBC, es un mecanismo para distribuir las tareas entre los distintos agentes.

1.3. Modelo de agentes (AM), los agentes son entidades ejecutoras de una tarea y pueden ser personas, software o cualquier otro elemento. Este modelo describe características, competencias y restricciones de los agentes.

2. Nivel de Concepto: nivel en el cual se comprende la organización. Los dos modelos a este nivel son:

   2.1. Modelo de conocimiento o modelo de experiencia (EM), es la parte esencial de esta metodología y modela el conocimiento para la resolución de problemas que usa el agente para ejecutar una tarea. Al hablar de conocimiento, es necesario distinguir los dos tipos de conocimiento que existen en una organización: *Conocimiento explícito*, el cual se conoce, se puede compartir y se lo puede documentar y transmitir como por ejemplo una fórmula, un manual de especificaciones e incluso un programa informático. Y c*onocimiento tácito o implícito*, el cual está ahí en forma desarticulada y es difícil de explicarlo, ejemplo la habilidad o experiencia de una persona.

   2.2. Modelo de comunicación (CM), describe el intercambio de información y conocimiento entre los distintos agentes ejecutores de tareas en el TM.

3. Nivel de Implementación: nivel en el cual se modela la organización, el modelo en este nivel es el siguiente:

   3.1. Modelo de diseño (DM), los modelos anteriores OM, TM, AM, EM y CM tratan del análisis del SBC a diferencia del DM el cual describe la arquitectura y el diseño técnico del SBC.

Estos modelos en los distintos niveles actúan en forma sinérgica con el propósito de conseguir la integración final del SBC.

La *Figura 2* muestra la interacción entre los distintos modelos.

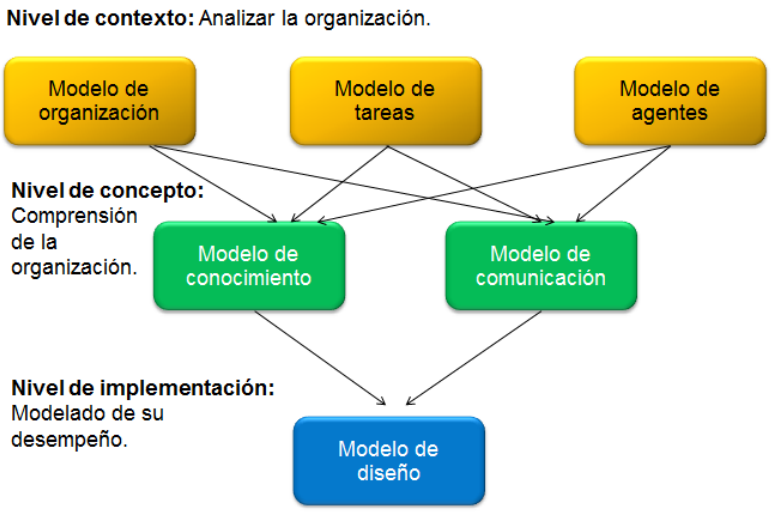


Figura 2. Niveles considerados por el modelo CommonKADS para desarrollo de un SBC. Chávez (2015).

3. Resultados y discusión

3.1. Sistemas expertos usados en auditorías de seguridad de la información.

Los sistemas expertos son un tipo de SBC que intentan actuar o comportarse en todo aspecto como un humano. Son diseñados para resolver problemas muy complejos sin utilizar procedimientos comunes como es el caso de la programación convencional, utilizan razonamiento sobre el conocimiento de la misma manera que un experto humano.

El núcleo de un sistema experto según Atymtayeva (2012) es la base de conocimientos, la cual debe ser cuidadosamente diseñada y construida para que refleje el dominio del problema a analizar, considerando conceptos claves e identificando relaciones entre estos. En el área de seguridades de información, es muy difícil identificar claramente el proceso y el camino adecuado para formular un esquema de sistema experto para auditoría de estas seguridades; para facilitar el proceso, se puede acudir a las ontologías que no son otra cosa que una herramienta de comunicación entre los humanos y los sistemas de toma de decisión.

A continuación se lista la secuencia de pasos para el desarrollo de esta ontología:

1. Desarrollo del glosario de términos.
2. Definición de relaciones jerárquicas, y equivalencias para estructurar el diccionario basado en conceptos.
3. Identificación de axiomas.

Para el desarrollo de la base de conocimiento se pueden usar algunas fuentes de conocimiento, entre las cuales según Atymtayeva (2012) se mencionan:

- Modelo del sistema derivado del proceso de modelado de la base de conocimiento.
- Documentación y procesamiento de seguridades de información que pueden provenir de estándares de seguridad como ISO 27002:2005.
- El conocimiento de expertos en el área, en este caso de seguridades de la información.

La ontología anteriormente mencionada se transforma en un modelo de conocimiento considerando aspectos como activos, amenazas, vulnerabilidades y controles.

La *Figura 3* describe el modelo de conocimiento y sus relaciones en el ámbito de la auditoría informática.

Figura 3. Niveles del modelo CommonKADS para desarrollo de un SBC. Adaptado de Atymtayeva (2012)

Sin importar la metodología de evaluación de seguridades de información que se utilice, los conceptos manejados aquí según la ISO/IEC (2015) son:

- Riesgo: Es la "combinación de la probabilidad de un evento y sus consecuencias."
- Activo: cualquier cosa de valor de la organización.
- Amenaza: Es la "causa potencial de un incidente no deseado que puede resultar perjudicial para un sistema o la organización."
- Vulnerabilidad: Es una "debilidad física, técnica o administrativa que puede ser explotada por una amenaza."
- Control: es un elemento usado para mitigar las vulnerabilidades implementando medidas físicas u organizacionales.

Estos conceptos, en el modelo se transforman en relaciones de la siguiente manera:

- Las vulnerabilidades son explotadas por las amenazas, en este caso, es necesario introducir un factor de ponderación o coeficiente de severidad de forma tal que el sistema experto puede interpretar la severidad de la amenaza.
- La vulnerabilidad es mitigada por los controles.
- Los controles son implementados para los activos de información con el propósito de disminuir el riesgo (riesgo residual).
- Los activos presentan vulnerabilidades.

3.2. Evaluación de riesgos.

Según Elky (2014), identificar y evaluar los riesgos puede ser una tarea compleja, normalmente el riesgo se calcula como una función de la probabilidad de la amenaza que se ejerce sobre la vulnerabilidad.

En la actualidad, los riesgos sobre la seguridad de la información pueden afectar sobremanera aspectos como integridad, confiabilidad y disponibilidad de la misma.

Para hacer la evaluación de riesgos, se debe considerar algunos aspectos:

- Obtener información de los activos de la organización: la cual sirve para alimentar la base de conocimiento.
- Identificar amenazas: para cada activo de información, se debe identificar las amenazas a las que está expuesto, por ejemplo un activo puede ser robado.
- Identificar vulnerabilidades: para poder calcular la probabilidad de las amenazas, es necesario buscar las vulnerabilidades asociadas con cada amenaza.
- Identificar controles: después de identificar las vulnerabilidades, el sistema encuentra los controles asociados, propuestos normalmente por estándares de seguridad.
- Evaluar la efectividad de los controles, y se ingresa nuevamente en el ciclo debido a que el sistema se basa en la aplicación de controles sobre los activos.
- Calcular el riesgo residual. El cual queda luego de aplicar los controles.

Todos los elementos aquí mencionados se han aplicado en distintos sistemas de uso comercial, según Bonilla (2014) entre los cuales se pueden mencionar los que se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Aplicación de sistemas expertos en la auditoría, contabilidad y análisis financiero.

Nombre del sistema	Referencias	Área de Gestión	Funcionalidad
AUDITPLANNER	Steinbart et al. 1987	Auditoría	Ayuda a los auditores a determinar los juicios de materialidad de las cifras en la etapa de planificación de la auditoría.
RISK ADVISOR	Graham et al. 1991	Riesgo de la auditoría	Valorar los riesgos en auditoría y evaluar el rendimiento económico de un cliente.
BUCKS (Business Control Knowledge System)	Brown y Phillips 1990	Contabilidad de Costos y de Gestión	Ayuda a los directores a analizar el rendimiento de los proyectos de la división y las actividades de asesoría de las regiones.
FSA (Financial Statement Analyzer)	Mui y McCarthy 1987 O`Learny 1987 Murria y Murria 1988 Van Dijk y Williams 1990 Keyes 1991	Contabilidad Financiera	Realiza la revisión analítica de los registros de los estados financieros de una compañía.
ANIBAL	Eritel 1991 Núñez 1991 Fortuna et al. 1991	Análisis contable y financiero	Le facilita a los analistas financieros la evaluación de la gestión comercial y financiera de la empresa.

4. Conclusiones y Recomendaciones

El uso de sistemas basados en conocimientos resulta de gran ayuda en la auditoría de sistemas de información; aprovechando el conocimiento de un experto en auditoría, se pueden desarrollar sistemas expertos que apliquen este conocimiento a través de herramientas informáticas que permitan tomar o guiar decisiones en un proceso de auditoría de sistemas.

El uso de este tipo de herramientas no es todavía aprovechado en todo su potencial, hay algunos trabajos al respecto, sin embargo a futuro se puede aplicar en distintos tipos de auditorías, especialmente de sistemas.

A pesar de que se pueden usar sistemas expertos como ayuda para la auditoría, la opinión del auditor aún juega un papel preponderante.

No está muy lejos el pensar en auditorías de sistemas de información inteligentes en las que el uso de herramientas de inteligencia artificial sobrepasen y complementen la opinión humana del auditor.

Independientemente de la metodología utilizada, el desarrollo de un sistema experto es de mucha utilidad a la hora de realizar la auditoría informática.

A través de estas técnicas, se propone fomentar la investigación y el aporte de la Inteligencia Artificial en los procesos de auditoría informática.

Como trabajos futuros se plantea el estudio de estos sistemas focalizados a casos prácticos en donde se pueda medir la eficiencia de los mismos.

Bibliografía

Agarwal, M. & Goel, S. (2014) *Expert System and it's Requirement Engineering Process*. International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014), Jaipur, 2014, pp. 1-4. Recuperado Marzo 23, 2015 de http://ieeexplore.ieee.org

Atymtayeva, L., Bortsova, G., Inoue A., Kozhakhmet, K. (2012). *Methodology and ontology of expert system for information security audit*. SCIS-ISIS 2012, Kobe, Japan, November 20-24, 2012, pp. 1-6. Recuperado Marzo 18, 2015 de http://ieeexplore.ieee.org

Bonilla, L. (2014). *Inteligencia Artificial aplicada en la Prevención y Detección de Lavado de activos y Financiamiento del Terrorismo*, pp 10-17. Recuperado Abril 16, 2015 de www.felaban.net/archivos_noticias/archivo20141107151058PM.

Chávez, A. (2015). *metodologa-commonkads*. Recuperado Enero 15, 2016 de http://es.slideshare.net/uni_fcys_sistemas/metodologa-commonkads

Echenique, J. (2001). *Auditoría en Informática*, pp. 2-20. México: McGraw-Hill.

Elky, S. *Risk management*. Recuperado Enero 21, 2016 de http://www.sans.org -1204

García, A. (2013*) Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*, pp 171-175. México: AlfaOmega.

Giraldo, l. y Montoya, D. (2015). *Aplicación de la metodología de Commonkads en la gestión del conocimiento*. Revista CEA, 1(2), 99-108. Recuperado Febrero 6, 2017 de itmojs.itm.edu.co/index.php/revista-cea/article/download/804/761

Granados, E. (2016). *Auditoría de Sistemas*. Recuperado Marzo 12, 2016 de http://artemisa.unicauca.edu.co

Henao, M. (2001). *CommonKADS-RT: Una Metodología para el Desarrollo de Sistemas Basados en el Conocimiento de Tiempo Real*, Tesis Doctoral, pp. 27-30. Recuperado Febrero 7, 2017 de http://users.dsic.upv.es/grupos/ia/sma/thesis/pdf/TesisMonicaH.pdf

ISO/IEC (2015). *Information technology — Security techniques — Code of practice for information security management*, 2005 Recuperado Agosto 14, 2016 de https://www.iso.org

Moeller, R. (2010). *IT Audit, Control, and Security, pp 135-140*. New York: John Wiley & Sons.

Montoya, D., Giraldo, J., Perdomo W. (2014). *Caracterización, Arquitectura de los SBC, y el proceso de realización de las auditorias en Colombia*, pp 1-6. Recuperado Agosto 20, 2016 de www.iiis.org/CDs2013/CD2013SCI/CISCI_2013/PapersPdf/CA923DT.pdf

Palma J., Marín R (2008). *Inteligencia Artificial: Métodos, técnicas y aplicaciones*, pp. 83-97 Madrid: McGraw-Hill.

Piattini , M., Del Peso E. (2001). *Auditoría Informática, Un enfoque práctico*, pp. 3-8 México: AlfaOmega.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.160 - 171
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363

Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Seguridad de la información en el intercambio de datos entre dispositivos móviles con sistema Android utilizando el método de encriptación RSA

(Information security in data exchange between mobile devices with Android system using RSA encryption)

Fernando Solís [1, 2], Diego Pinto [2], Santiago Solís [1]

Resumen:

Los nuevos estilos y formas de vivir conllevan al mayor uso de redes inalámbricas, siendo el dispositivo móvil una herramienta para la transmisión de datos, los cuales son susceptibles a las amenazas en los canales de transmisión en la red. La seguridad informática cumple un papel muy importante para garantizar la disponibilidad, privacidad e integridad de la información, una de las técnicas que ayuda en ésta tarea es la criptografía, cuyo fundamento es transformar un mensaje de modo que sea inentendible salvo para los que posean la clave para descifrarlo. La investigación se enfoca en el uso del algoritmo RSA entre dispositivos móviles, los datos cifrados se envían por canales de comunicación llamados hilos que mediante fórmulas y procesos ejecutados en el servidor, ayudarán a ejecutar el cifrado y descifrado de los datos. Para llevarlo a cabo se diseñó e implementó un prototipo para el intercambio de datos entre dispositivos móviles de manera inalámbrica, efectuando pruebas de rendimiento con tres nodos con el fin de mejorar la seguridad. Los resultados muestran la eficiencia del algoritmo y adicionalmente su funcionalidad, los tiempos de cifrado y descifrado son rápidos frente al envío de información sin ningún método o algoritmo utilizado.

Palabras clave: seguridad informática; criptografía; RSA; dispositivos móviles; sistema Android

Abstract:

The new styles and ways of life lead to greater use of wireless networks, the mobile device being a tool for data transmission, which are susceptible to threats in the transmission channels in the network. IT security plays a very important role in guaranteeing the availability, privacy and integrity of information, one of the techniques that helps in this task is cryptography, whose foundation is to transform a message so that it is unintelligible except for those who have the Key to decipher it. The research focuses on the use of the RSA algorithm between mobile devices, the encrypted data is sent through communication channels called threads that through formulas and processes executed on the server, will help to execute the encryption and decryption of the data. To carry it out, a prototype for the exchange of data between mobile devices wirelessly was designed and implemented, conducting performance tests with three nodes to improve the security. The results show the efficiency of the algorithm and additionally its functionality, the times of encryption and decryption are fast against the sending of information without any method or algorithm used.

Keywords: IT security; cryptography; RSA; mobile devices; android system

[1] Instituto Superior Rumiñahui - ISTER, Sangolquí – Ecuador (fsolis@ister.edu.ec, wsolis@ister.edu.ec)
[2] Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Sangolquí – Ecuador (efsolis@espe.edu.ec, djpinto@espe.edu.ec)

1. Introducción

La movilidad es una de las ventajas que ofrecen las redes inalámbricas (Karygiannis & Owens, 2002), pero sus características presentan problemas de seguridad en comparación con las redes tradicionales (Barajas, 2004). Una de las desventajas en las redes inalámbricas es que cualquier dispositivo que se encuentre dentro del rango de la señal puede hacer uso de ella. El uso de tecnología inalámbrica incrementa la posibilidad de intercambiar información, además aumenta la inseguridad en la transmisión de los datos, es por eso que protegerla se ha vuelto una prioridad.

Se propone construir un prototipo para el intercambio de datos entre dispositivos móviles en una red inalámbrica, para ello se implementa el método de encriptación RSA (Cipriano, 2008), se analiza el uso del protocolo de negociación del estándar TLS (seguridad de la capa de transporte), además el uso de sockets permitirá establecer la conexión entre el cliente y el servidor.

Para asegurar la transmisión de datos desde un smartphone con sistema android (Inc., 2016) al servidor, se encripta la información para su viaje en los canales de comunicación a fin de garantizar su integridad (Shabtai, Fledel, Kanonov, Elovici, Dolev, & Glezer, 2010).

El cifrado se realiza mediante un proceso instalado en el dispositivo móvil. El mensaje cifrado obtenido mediante el algoritmo RSA y la clave privada del servidor, viajan por el hilo de comunicación hasta el servidor local. Una vez que llega al servidor es descifrado mediante la llave privada, y es cifrado nuevamente con la llave pública del usuario destino, cuando llega al usuario receptor el descifrado se realiza utilizando el método RSA inversa.

Durante el proceso de cifrado y descifrado es necesario acceder a los datos reservados para el método, y a continuación mostrar el mensaje descifrado (Meza, 2010). Este algoritmo ha sido desarrollado utilizando como software: Android Studio, mismo que genera una aplicación la cual se ha instalado en los dispositivos móviles utilizados. A fin de incrementar el nivel de seguridad, se manejan y almacenan las claves en los hilos de comunicación los cuales se activan siempre que el servidor lo requiera. Este algoritmo proporciona un alto nivel de seguridad por el hecho de utilizar números primos muy grandes y distintos, los números forman la clave privada y pública de cada una de las partes, otro aspecto a considerar es la factorización del producto de dichos números, el algoritmo RSA fija que como mínimo los números primos sean de 155 dígitos (512 bits), asegurando la integridad y la confidencialidad de los datos (Young & Young, 2006) (Sierra & Lerch, 2014).

El uso de protocolos de seguridad y métodos de encriptación dependen su funcionamiento del método matemático con el cual fueron elaborados (Pino & Hernández, 2000), permitiendo el cifrado y descifrado de la información, esto conlleva al continuo desarrollo y mejoramiento de la seguridad de la información para garantizar la confidencialidad, disponibilidad y autenticidad (Scolnik, 2014); actualmente los métodos producen excelentes resultados reflejados en el uso de recursos computacionales.

2. Materiales y Métodos

Se desarrolló un prototipo utilizando la arquitectura cliente-servidor la cual utiliza varios nodos, un servidor (computadora portátil) que se comunicará con los dispositivos móviles (clientes), los cuales establecen una negociación con el uso del protocolo TLS, con la utilización de socket's que servirán en la conexión entre el servidor y los clientes y poder intercambiar datos mediante el uso de una red inalámbrica. Para poder establecer una sesión de intercambio de datos es necesario que la APP generada se instale en los dos dispositivos con la configuración adecuada, y conectar los tres dispositivos a la red inalámbrica Ad Hoc.

Se utilizó Agile Unified Process (AUP) (Kruchten, 2004) (Ambler, 2002), ya que tiene el enfoque del desarrollo de software del proceso unificado, añadiendo un proceso mucho más rápido, serializando procesos detalladamente y generando versionamiento de la aplicación de acuerdo a las diferentes etapas de desarrollo (Li & Wang, 2010). La metodología utilizada en el proyecto es ágil, ya que actualmente el proceso de elaboración debe optimizar el uso de recursos tangibles e intangibles, por ejemplo el tiempo utilizado para la elaboración del proyecto.

2.1 Diseño del sistema

El prototipo está compuesto por dos partes: el módulo de negociación y el modulo para intercambio de datos, teniendo en cuenta que los procesos variarán dependiendo del dispositivo en el que se ejecuten.

La *Figura 1* muestra que una vez que se ha establecido la red inalámbrica se realizará la conexión del servidor y los clientes asignando sus respectivas direcciones IP, luego se levantan los servicios y enrutamiento a nivel de servidor, y se ejecutan el cifrado y descifrado usando como parámetros los números primos generados que servirán para garantizar la integridad, confidencialidad y autenticidad de los datos, utilizando el protocolo TLS para establecer una sesión segura.

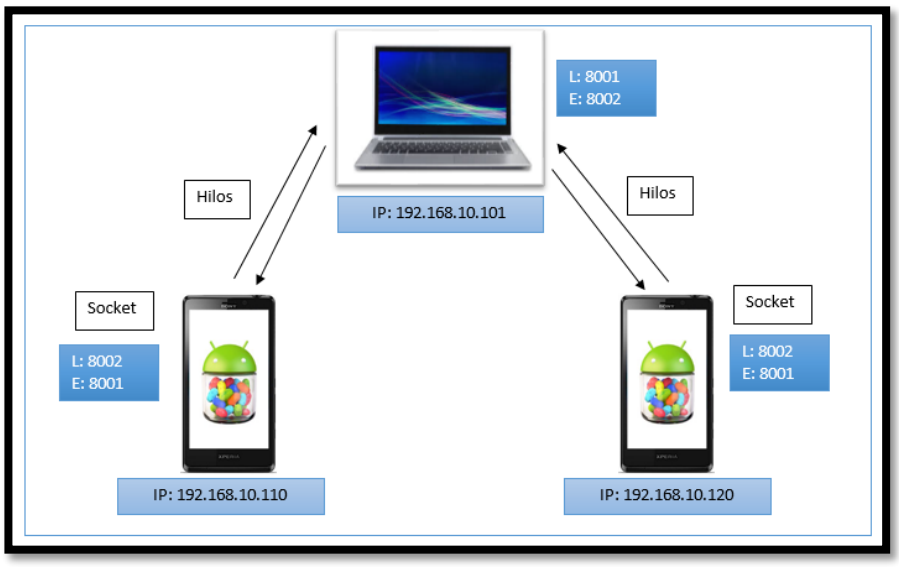


Figura 1. Funcionamiento del sistema

El propósito de la utilización de llaves de sesión es para entablar la negociación entre los dispositivos y el servidor, el módulo de intercambio de datos se ejecuta mediante la utilización de hilos de comunicación que funcionan de manera bidireccionales. Adicional a esto se hace uso de la interfaz MAP en java (Cadenhead, 2014) (Montero Miguel, 2014) que permite representar una estructura de datos para almacenar pares “clave/valor”, en el prototipo se almacenará “Dirección IP / Hilo de envío”.

El prototipo de mensajería requiere que los dispositivos móviles y el servidor de aplicaciones mantengan intercambio de información, para realizar ésta comunicación se utiliza un formato de intercambio de datos denominado JSON (*JavaScript Object Notation*) (Downes, Belliveau, Samet, Rahman, & Savoie, 2010) , una de las mayores ventajas del formato es que puede ser leído por cualquier lenguaje de programación. Por lo tanto, puede ser usado para el intercambio de información entre distintas tecnologías.

2.2 Mapeo de comunicaciones

Para la implementación del prototipo se utilizó uno de los patrones de desarrollo de software más utilizados, el Modelo – Vista – Controlador (MVC), este patrón se basa en separar los datos y la lógica de negocio de la aplicación de la interfaz del usuario (Buschmann, Meunier, Rohnert, Sommerlad, & Stal, 1996). Para ello MVC define componentes para la representación de la información, y por otro lado para la interacción del usuario. MVC está diseñado para facilitar la tarea del desarrollo de aplicaciones mediante la reutilización de código y la separación de conceptos, a la vez que contribuye en gran medida al mantenimiento y escalabilidad de dichas aplicaciones.

Para la aplicación del método de encriptación RSA se utilizó programación en java, usando la técnica de programación que facilite el intercambio de información entre el código en java y los dispositivos móviles. Para la lectura de las llaves y el hilo de comunicación de dispositivos se aplica Stream, ya que al momento de conectarse el cliente este almacenará en la llave una dirección IP y el hilo que se generará a continuación con cada uno de los dispositivos que realicen la petición al servidor de aplicaciones.

2.3 Diagrama de secuencia

La *Figura 2* muestra el proceso de cifrado de los mensajes que se envían desde un smartphone hacia otro teniendo en cuenta los actores y plataformas involucradas directamente, es necesario describir el levantamiento de los servicios en el servidor y consecuentemente en la aplicación, con esto se ejecuta la conexión y el proceso de los hilos de comunicación que servirá de canal de envío y recepción de los mensajes para ejecutar la programación establecida tanto en el servidor como en el celular el método de cifrado del RSA.

2.4 Descripción del sistema

En la *Figura 3* se observa el proceso que se realiza al momento de enviar un mensaje del cliente 1 al cliente 2. El cliente 1 envía un mensaje (m), dicho mensaje debe estar encriptado para poder

viajar por los hilos de conexión, es por eso que se lo multiplica por la clave pública del servidor (Kps) con lo que se obtiene el mensaje cifrado (M). M viaja hasta llegar al servidor en donde es descencriptado, para que el servidor pueda conocer cuál es el mensaje (m) se debe multiplicar el mensaje cifrado (M) por la clave privada del servidor. Para continuar con el envío el servidor debe encriptar nuevamente el mensaje (m) multiplicándolo por la clave pública (kp2) obteniendo así el mensaje encriptado (N) que será el que viaje por los hilos de conexión hasta llegar al destino del mensaje (cliente 2). El destinatario (cliente 2) para ver el mensaje original debe multiplicar el mensaje encriptado (N) por la clave privada (Kp2) obteniendo así la información requerida.

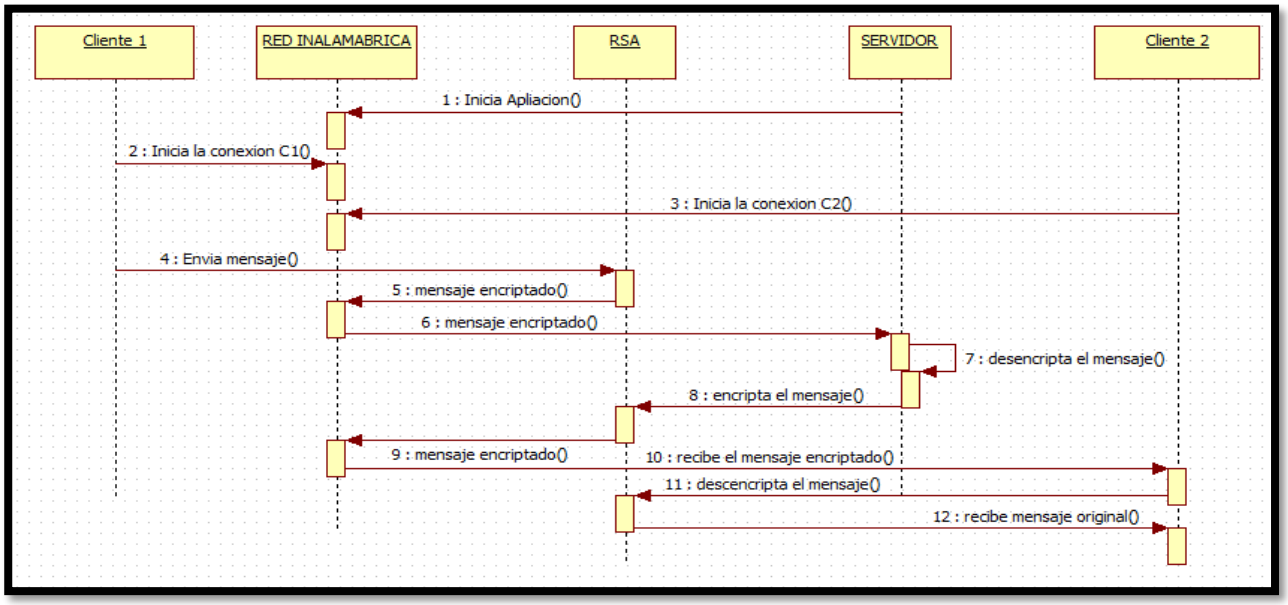


Figura 2. Proceso de encriptación

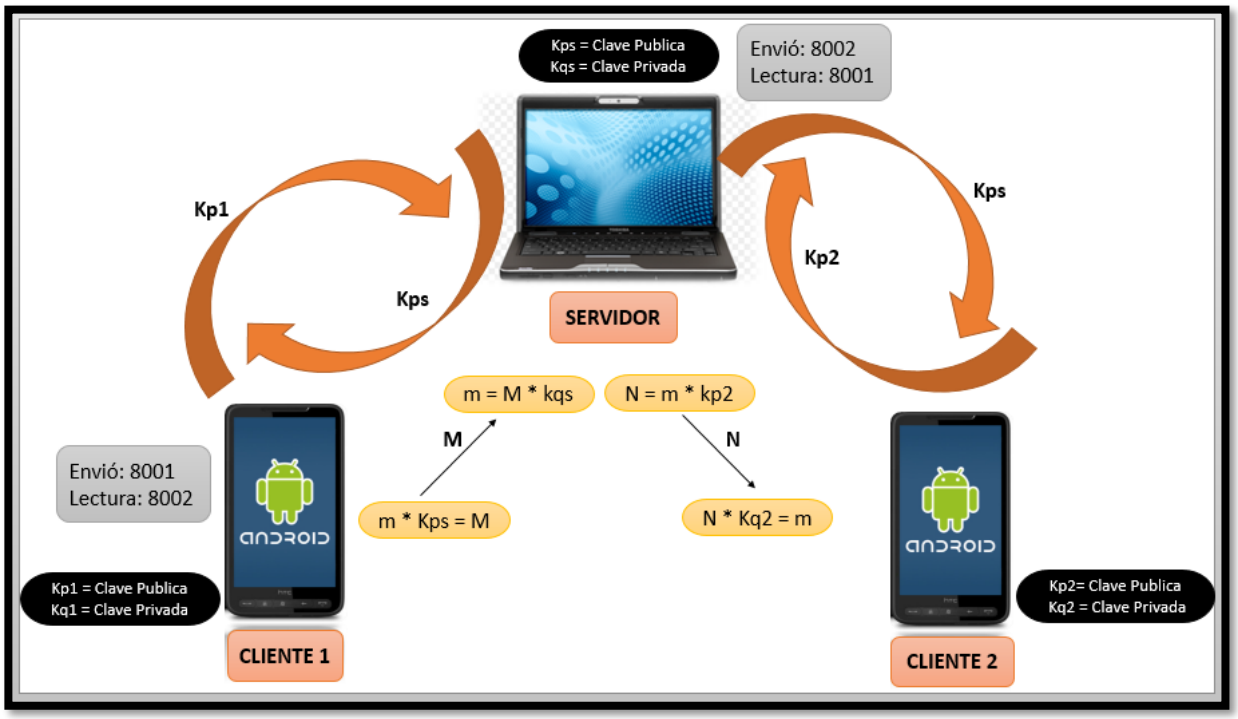


Figura 3. Proceso del sistema

2.5 Desarrollo del prototipo

La aplicación móvil se desarrolló usando como herramienta Android Studio versión 4.1 KitKat para la compatibilidad de los smartphones. En la *Figura 4* se observa la interfaz cuando el usuario se conecta al sistema, misma que funciona como página principal, dentro de este escenario aparecerán los iconos que permitirán el envío y recepción de los mensajes.

Figura 4. Aplicación en el terminal del cliente

La *Figura 5* muestra el escenario para registrar nuevos contactos a partir de la dirección IP que se almacenará en la base de datos predeterminada del dispositivo.

Figura 5. Registro de contactos

EL software del servidor de aplicaciones se desarrolló con la herramienta Eclipse versión Kepler con JDK 1.7 donde se encuentra el módulo de cifrado y descifrado como se observa en la *Figura 6*, la tecnología utilizada es Jax-rs para servicios resful en java para web, la ventaja del uso de

ésta tecnología es que las aplicaciones son multiplataforma y se ejecutan sobre cualquier ambiente.

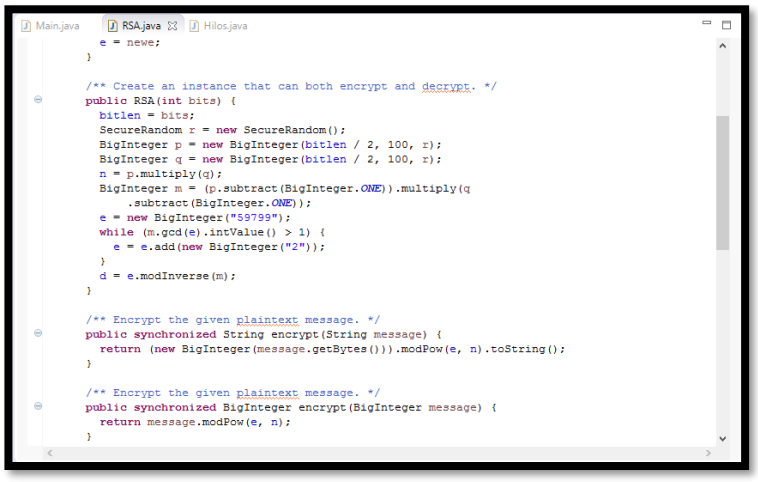


Figura 6. Aplicación del servidor

En la *Figura 7* se observa que el componente al no ser controlado por un actor humano sino por el sistema denominado ServidorMensa no tendrá interfaces gráficas, pero se mostrará en la consola las peticiones de conexión junto con la dirección IP, la fecha y la hora de la solicitud.

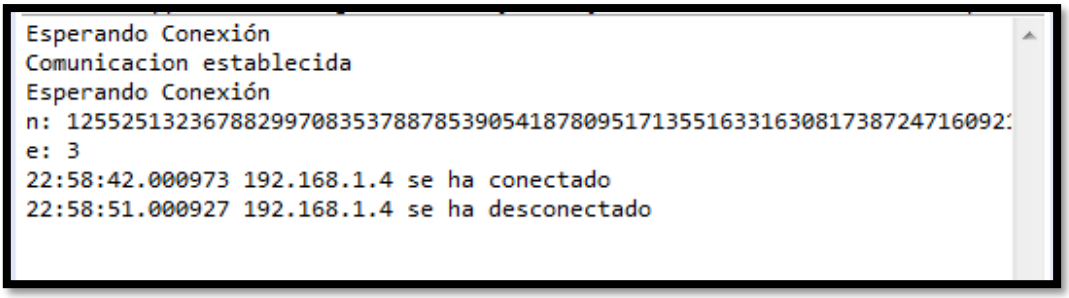


Figura 7. Consola de peticiones

3. Resultados y Discusión

En la *Tabla 1* se detalla el sistema de cifrado, se efectuaron varias pruebas de rendimiento cambiando el valor del exponente de la clave pública que utiliza la variable e. Mientras más cifras se tiene en el exponente de la clave pública, se tiene mayor seguridad de la información por el hecho que los tiempos de codificación y decodificación son mayores, y por ende el uso de recursos computacionales. Lo cual no permitirá que los ataques informáticos puedan descifrar la información, garantizando su autenticidad, confidencialidad y disponibilidad.

En la *Figura 8* se muestra el tiempo empleado en milisegundos por el método de cifrado RSA tanto en 1024 y 2048 bits al ser ejecutados en el servidor de aplicación para la distribución de datos en un ambiente inalámbrico.

Tabla 1. Pruebas de rendimiento con dígitos primos

A) Seguridad con 2 dígitos primos, e = 2				
número de cifras	número primo	tiempo para codificar	tiempo para decodificar	tiempo de proceso
2	29	108	114	6
2	43	695	702	7
2	67	109	116	6
2	97	139	146	7
			Promedio	6,5
B) Seguridad con 3 dígitos primos, e = 3				
número de cifras	número primo	tiempo para codificar	tiempo para decodificar	tiempo de proceso
3	223	806	816	10
3	479	558	567	9
3	773	645	655	10
3	997	781	790	9
			Promedio	9,5
C) Seguridad con 4 dígitos primos, e = 4				
número de cifras	número primo	tiempo para codificar	tiempo para decodificar	tiempo de proceso
4	1153	975	990	15
4	5393	173	200	27
4	7673	337	347	10
4	9733	311	325	14
			Promedio	16,5
D) Seguridad con 5 dígitos primos, e = 5				
número de cifras	número primo	tiempo para codificar	tiempo para decodificar	tiempo de proceso
5	10301	727	755	28
5	12421	770	800	30
5	98575	296	360	64
5	59799	340	360	20
			Promedio	35,5

La *Tabla 2* muestra los tiempos de procesamiento en el servidor utilizando el protocolo de cifrado RSA 1024 bits en dispositivos móviles ligeros (PDA), con la finalidad de evaluar el resultado de los procesos realizados anteriormente.

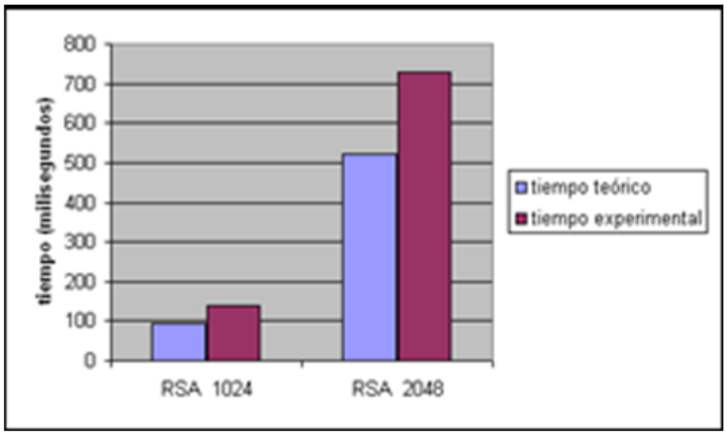


Figura 8. Tiempo teórico vs. Tiempo experimental en RSA

Los aspectos fundamentales en los resultados obtenidos reflejan similitud en el factor de procesos basados en el tiempo de ejecución, el mismo que es el principal componente que refleja el uso de números primos complejos, lo que requiere mayor número de recursos computacionales para llegar a optimizar el paso de encriptado y desencriptado en los dispositivos móviles, como se refleja en la *Tabla 3*.

Tabla 2. Tiempo estimado promedios (Milisegundos)

Hp (Cliente) / HP (Servidor)	THP (ms)	Ipaq (Client) / HP	THP (ms)
RSA 1024	22.8532	RSA 1024	95.0540
Curva 160 P	4.1814	Curva 160 P	6.87932
Curva 163 K	7.6730	Curva 163 K	22.6636
Curva 163 R	8.8217	Curva 163 R	24.0402
Híbrido usando curva 160 P	4.5136	Híbrido usando curva	6.2398
Híbrido usando curva 163 K	6.6657	Híbrido usando curva	14.7248
Híbrido usando curva 163 R	7.3579	Híbrido usando curva	15.3606
RSA 2048	139.7652	RSA 2048	522.5822
Curva 224 P	5.7201	Curva 224 P	13.4501
Curva 233 K	12.3072	Curva 233 K	39.0817
Curva 233 R	14.1477	Curva 233 R	40.8836
Híbrido usando curva 224 P	8.8119	Híbrido usando curva	16.0517
Híbrido usando curva 233 K	12.8829	Híbrido usando curva	30.5531
Híbrido usando curva 233 R	13.7194	Híbrido usando curva	31.5004

En el trabajo propuesto por (Carrera, 2010) se estudia los compromisos existentes entre una adecuada seguridad y factores como el desempeño y consumo de energía de aplicaciones ejecutándose sobre teléfonos celulares y asistentes digitales. Los resultados obtenidos muestran que la seguridad en las aplicaciones móviles no es gratuita y que su correcta implementación

requiere una selección cuidadosa de cada uno de los parámetros utilizados por los mecanismos criptográficos.

Tabla 3. Tiempo estimado promedios (Milisegundos) (R.= Resultado)

	Codificar (prom.)	Decodificar (prom.)	R.1	R.2
Trabajo Colaborativo	727	755	741	810
Trabajo Actual	770	800	785	800

En el trabajo desarrollado por (Miranda Arto, 2010) se expone sobre la mejora del rendimiento en los dispositivos móviles y el acceso a internet han hecho posible la comunicación a través de diferentes canales. Dichas conexiones seguras, sean cableadas o inalámbricas, se consiguen mediante la utilización de protocolos de seguridad, basados en algoritmos criptográficos. Estos algoritmos son seleccionados basándose en los objetivos de seguridad definidos en el protocolo de seguridad a utilizar. Entre ellos se incluyen algoritmos de encriptación simétricos y asimétricos, utilizados para proporcionar autenticación y encriptación de los datos, así como algoritmos basados en funciones hash, y, de esa manera, conseguir integridad en los mensajes intercambiados.

En lo referente al estudio de (Sierra & Lerch, 2014), el algoritmo RSA se basa en la complejidad de algunas funciones, como por ejemplo la multiplicación de dos números primos muy grandes y la factorización del resultado. Si bien ya existen granjas de GPU que son capaces de encontrar contraseñas de 8 caracteres en unas cinco horas, el algoritmo sigue siendo totalmente válido, ya que únicamente hace falta escoger números de 1024 bits para hacer que el proceso de factorización sea computacionalmente tan costoso en tiempo que no vale la pena iniciar el proceso de cálculo de la factorización

4. Conclusiones y Recomendaciones

El tiempo de cifrado y descifrado es mayor cuando el número primo sea mayor a tres cifras, es decir mayor seguridad, mayor tiempo de cifrado y descifrado. La ventaja de la utilización del algoritmo RSA se basa en que mientras más grande sea el exponente de la clave pública mayor será el tiempo que tome en cifrar y descifrar el mensaje. Tomando en cuenta que todo dependerá de lo que el usuario quiera: mayor seguridad o rapidez en la obtención de los datos.

Los trabajos futuros deben enfocarse en reforzar el intercambio seguro de información, para ello se deben combinar técnicas esteganográficas con criptografía. Además se debe mejorar la velocidad en los procesos de cifrar y descifrar, lo que involucra mayor seguridad en menor tiempo.

Bibliografía

Ambler, S. (2002). *Agile Modeling: Effective Practices for eXtreme Programming and the Unified Process.* John Wiley & Sons.

Barajas, S. (2004). Protocolos de seguridad en redes inalámbricas. *Universidad Carlos III de Madrid*.

Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., & Stal, M. (1996). *Pattern-Oriented Software Architecture, Volume 1: A System of Patterns.* Wiley.

Cadenhead, R. (2014). *JAVA 8 (Programación).* ANAYA MULTIMEDIA.

Carrera, E. (2010). The Cost of Security in Mobile Devices. *3rd International Congress in Telecommunications, Information Technology and Communications.* Quito.

Cipriano, M. (2008). Factorización de N: recuperación de factores primos a partir de las claves pública y privada. *XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC.* Chilecito, La Rioja.

Downes, S., Belliveau, L., Samet, S., Rahman, M., & Savoie, R. (2010). Managing digital rights using JSON. *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), IEEE*.

Inc., G. (2016). *Android*. Recuperado el 2016, de https://www.android.com/intl/es_es/

Karygiannis, T., & Owens, L. (2002). Wireless network security 802.11, Bluetooth and handheld devices - NIST.

Kruchten, P. (2004). *The Rational Unified Process: An Introduction.* Addison–Wesley.

Li, J., & Wang, X. (2010). Research and Practice of Agile Unified Process. *IEEE Xplore Digital Library*.

Meza, J. (Noviembre de 2010). Cifrado y descifrado asimétrico con RSA utilizando C#/Mono. Recuperado el Abril de 2016, de http://blog.jorgeivanmeza.com/2010/11/cifrado-y-descifrado-asimetrico-con-rsa-utilizando-cmono/

Miranda Arto, P. (Diciembre de 2010). Consumo energético de algoritmos criptográficos y protocolos de seguridad en dispositivos móviles Symbian.

Montero Miguel, R. (2014). *JAVA 8 (Guía Práctica).* ANAYA MULTIMEDIA.

Pino, C., & Hernández, C. (2000). *Criptología y Seguridad de la Información: Actas de la VI Reunión Española Sobre Criptología y Seguridad de la Información: VI RECSI.* Ra-Ma.

Scolnik, H. (2014). *Qué es la Seguridad Informática.* Buenos Aires: Paidós SAICF.

Shabtai, A., Fledel, Y., Kanonov, U., Elovici, Y., Dolev, S., & Glezer, C. (2010). Google Android: A Comprehensive Security Assessment. *IEEE Xplore Digital Library*.

Sierra, J., & Lerch, D. (2014). *Esteganografía y estegoanálisis.* 0xWORD Computing S.L.

Young, A., & Young, M. (2006). An Elliptic Curve Asymmetric Backdoor inOpenSSL RSA Key Generation.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.172 - 185
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Estimating Sample Size for Usability Testing

(Estimación del tamaño de la muestra para pruebas de usabilidad)

Alex Cazañas, Andre de San Miguel [1], Esther Parra [2]

Abstract:
One strategy used to assure that an interface meets user requirements is to conduct usability testing. When conducting such testing one of the unknowns is sample size. Since extensive testing is costly, minimizing the number of participants can contribute greatly to successful resource management of a project. Even though a significant number of models have been proposed to estimate sample size in usability testing, there is still not consensus on the optimal size. Several studies claim that 3 to 5 users suffice to uncover 80% of problems in a software interface. However, many other studies challenge this assertion. This study analyzed data collected from the user testing of a web application to verify the rule of thumb, commonly known as the "magic number 5". The outcomes of the analysis showed that the 5-user rule significantly underestimates the required sample size to achieve reasonable levels of problem detection.

Keywords: usability testing; problem discovery; sample size

Resumen:
Una de las estrategias empleadas para asegurar que una interfaz satisfaga los requerimientos del usuario es la aplicación de pruebas de usabilidad. Cuando se aplican tales pruebas una de las incógnitas a despejar es el tamaño de la muestra. Dado que, realizar pruebas en forma extensiva es costoso, reducir al mínimo el número de participantes puede contribuir en gran medida a una gestión exitosa de los recursos de un proyecto. Aunque se han propuesto un número significativo de modelos para estimar el tamaño de la muestra en una prueba de usabilidad, todavía no hay consenso acerca del tamaño óptimo. Varios estudios afirman que de 3 a 5 usuarios son suficientes para descubrir el 80% de los problemas en la interfaz de un sistema. Sin embargo, otros tantos estudios cuestionan la validez de esta aseveración. El presente estudio analizó los datos obtenidos de las pruebas de usuario de una aplicación web para verificar la regla práctica conocida comúnmente como "el número mágico 5". El resultado del análisis mostró que la regla de los 5 usuarios subestima significativamente el tamaño de la muestra requerida para conseguir niveles razonables de detección de problemas.

Palabras clave: pruebas; usabilidad; muestra; descubrimiento; problemas

1. Introduction

The degree by which a software product meets user expectations in terms of its ease of use, effectiveness and efficiency, reflects the accomplishment of the intended usability goals of a software development project. Conducting usability testing is central to the realization of such goals because

[1] University of Queensland, Brisbane – Australia ({alex.cazanasgordon, andre.desanmiguel } @uqconnect.edu.au)
[2] Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador (esther.parra@epn.edu.ec)

it provides an effective tool to ensure that defects affecting usability are detected before the release of a new product.

In all projects, efficient resource allocation is essential, particularly when the cost of resources is high. Since increasing the amount of user testing sessions directly impacts the project cost, budget constraints will limit the ability to conduct exhaustive user testing. Consequently, from an economical point of view, it is important to ensure that the benefit gained by additional testing is greater than the incurred costs.

Determining the minimum number of participants that exposes most problems in a usability test is a problem that has generated a considerable amount of research and debate during the past two decades. In the early 1990's, Virzi (1992), Nielsen and Landauer (1993), and Lewis (1994) were the first to publish methods to estimate the size of the smallest sample required to achieve a target proportion of problems discovered in a usability test. Their research, based on empirical data and statistical modelling, allowed them to make three outstanding claims:

1) Most problems are discovered by the first three to five participants.
2) The increment in problem discovery after five participants is minimal.
3) ROI of usability testing can be maximized by minimizing the sample size.

Since their publication, these claims also known as "4±1" or "magic number 5" have generated a great deal of discussion in the usability community, so much so that at the Computer-Human Interaction conference in 2003, a panel was dedicated to discuss this matter (Bevan, et al., 2003).

This paper will focus on, and review the 4±1 model for estimating the sample size required to obtain a proportion of problem discovery of at least 80% in the testing of a web interface. Furthermore, the outcomes of a permutation test will be presented to investigate the effect of small samples on the estimation of the discovery rate.

1.1. Background

Three studies were considered for the provision of a suitable base calculation template to estimate sample size: (Virzi, 1992), (Nielsen & Landauer, 1993), and (Lewis, 1994).

Virzi (1992) used empirical data from three experiments and Monte Carlo simulation to conclude that problem discovery rate and the number of participants establish an asymptotic relationship. In his experiments, trained testers observed that the amount of discovered problems depends on the number of participants and the likelihood of discovering a problem. This last parameter is known as *problem discovery rate* and represents the average of the fraction of problems observed for each user (or the average of the proportion of users that detected each problem). The proportion of problems discovered was modelled with the cumulative binomial probability formula, as follows:

$$\text{Proportion of problems} = 1 - (1 - p)^n \qquad (1)$$

Where n is the number of participants, and p is the problem discovery rate.

The problem discovery rate, for a testing session is equal to the quotient between the number of unique problems detected, and the number of problem occurrences observed by all participants.

In (Nielsen & Landauer, 1993) data derived from eleven usability tests, and statistical modelling were used to reach a similar model. In this study, the number of detected problems is estimated as a function of n, p and the total number of problems N, as follows:

$$\text{Number of problems} = N\,[1 - (1 - p)^n] \quad (2)$$

Both approaches estimate the number of participants (n) required to uncover a goal percentage of problems, with a given problem discovery rate (p).

$$n = \log(1 - \text{Goal})/\log(1 - p) \quad (3)$$

Lewis (1994) applied the techniques used in (Virzi, 1992) to empirical data from usability testing conducted on a piece of software for office applications. The findings of this study coincided with Virzi's results. Nevertheless, he noted a potential overestimation of p in small-sample estimation.

Several authors have challenged the soundness of modelling problem rate discovery with a single value for p. Woolrych and Cockton (2001) contend that problems do not affect users uniformly, thus estimation based solely on problem frequency is misleading. Caulton (2001) argues that due to the heterogeneity of users, different types of users will discover different kinds of problems. Therefore, the model should incorporate a term that considers the number of user sub-groups. Turner, Lewis, and Nielsen (2006) responded to criticism of sample size formulae by providing a method to adjust the estimated average problem frequency.

2. Methodology

The steps involved in this study are summarized as follows:

- Obtain data from user testing.
- Process data to identify unique and repeated problems.
- Calculate parameters and metrics from this data to make observations.

One of the components of the last step in this process is using the calculated parameters to determine the number of user tests or samples required to achieve a level of problem discovery. Later, we employed a permutation test to investigate the distribution of the estimates of the problem discovery rate. In addition, we analyzed the accuracy of the estimation by comparing the mean scores of the estimates against the true value of p. Finally, this number was used to answer the question of whether the number of user tests undertaken was enough to reach a percentage of problem detection greater than 80%.

To review the consistency of the results, the parameters from two different datasets were computed.

2.1. Data sources

To obtain data required for the proposed analysis, two datasets were sourced from two independent rounds of testing of a web interface. In the tests, participants were requested to identify usability problems in the interface under study. In total, 34 different respondents participated in both surveys, 17 testers each. The second survey was undertaken two weeks after the first one.

To prepare the user testing data for parameter estimation, two passes were made over each dataset. The first pass was used to identify unique problems, which were catalogued and numbered. Later, the second pass counted which users identified which problem or problems. This process then resulted in a grid structure which shows the problem count for each user test, specifying the problem or problems, observed by each tester. This process also allowed the identification of problems identified by more than one tester. Table 1 shows the processed data from Dataset #2

2.2. Parameter estimation

As per formula (1) the proportion of problems discovered depends on the problem discovery rate (p). To estimate this parameter, the quotient between the number of unique problems and the number of problem occurrences observed by participant is computed. As an example, consider the data in Table 1, in which there are 17 participants, 8 problems, and 28 problem observations (cells containing an “x”), with these values p is 0.21 = 28/(8*17).

2.3. Monte Carlo simulation

In many real-life applications, resource constrains prevent to gather enough participants to properly estimate the sample size. In such scenarios, p is estimated from small samples, using rules of thumb such as the “magic number 5”. Hertzum and Jacobsen (2001), and Lewis (2000) investigated the effect of this practice, finding that small-sample estimation produce overestimation of this parameter, which will potentially lead to underestimate the required sample size, and to overestimate the proportion of problems discovered in a usability testing.

To illustrate this, suppose that in *Table 1* p is computed after the sixth test. The number of problems discovered up until that point is 3, with 7 problem occurrences. The value of p computed with these data would be 0.39 = 7/(3*6), which results in an overestimation of 85% of its true value. If the proportion of problems discovered were projected with the estimated of p, a practitioner would overestimate the number of problems uncovered and stop the testing earlier than needed to achieve a reasonable goal of problem discovery.

Since the selection of the sample to estimate p is arbitrary, different samples (data subsets) will produce different estimates. To investigate the distribution of the estimates, we used Python language and NumPy package to write a program that implements Monte Carlo sampling with 1000 permutations. According with (Lewis, 2000) this number of permutations produce a close

approximation to complete factorial combination. The outcomes of the permutation test were used to compute statistics of the distribution of p, and the proportion of problems discovered, as a function of the sample size across permutations.

Table 1. Problem count grid from data-set #2

Participant	Problem Id								Problem Count
	1	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***	
1	x	x							2
2									0
3									0
4		x							1
5	x	x							2
6		x	x						2
7	x					x			2
8		x			x				2
9	x	x							2
10	x				x			x	3
11	x			x	x		x	x	5
12	x	x					x		3
13		x							1
14	x								1
15									0
16	x								1
17		x							1
Problem count	9	9	1	1	3	1	2	2	28

Note. In the grid a cell containing an "x" denotes the observation of one of the problems by one of the users.

2.4. Adjustment of the estimation of p

In (Lewis, 2001) several adjustment techniques are reviewed and synthesized into one method, the author regarded as the most accurate, to adjust the estimate of p. The formula to adjust the value of the p, is:

$$p_{adj} = 1/2\ [(p_{est} - 1/n)(1 - 1/n)] + 1/2[\ p_{est}\ /(1 + GT_{adj})] \qquad (4)$$

Where n is the sample size used to compute the initial estimate of p, and GT_{adj} is the Good–Turing adjustment to probability space. GT_{adj} is obtained by dividing the number of problems that occurred once by the number of different problems. Going back to the example where p was estimated with a six-participant sample. The estimate for p applying Lewis' adjustment is 0.229, which compared to true p gives a deviation of 11% (significantly lower than that of the initial estimate).

3. Results

3.1. Parameter estimation

The number of users required to uncover a given percentage of usability problems can be projected as a function of the sample size used to estimate p. Tables Table ***2*** and Table ***3***, and figures Figure ***1*** and Figure ***2*** present the estimates of the sample size required to uncover 80%, 90% and 99% of problems computed from datasets 1 and 2.

Table 2. Projected sample size to achieve 80%, 90% and 99% of problem detection for Dataset #1

	Sample size															
Problem detection	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
80%	2	3	5	6	6	7	9	9	10	11	12	12	11	12	13	14
90%	2	4	6	8	9	10	12	13	14	16	17	17	16	17	19	20
99%	5	8	13	17	17	21	25	26	27	31	34	35	33	34	37	40

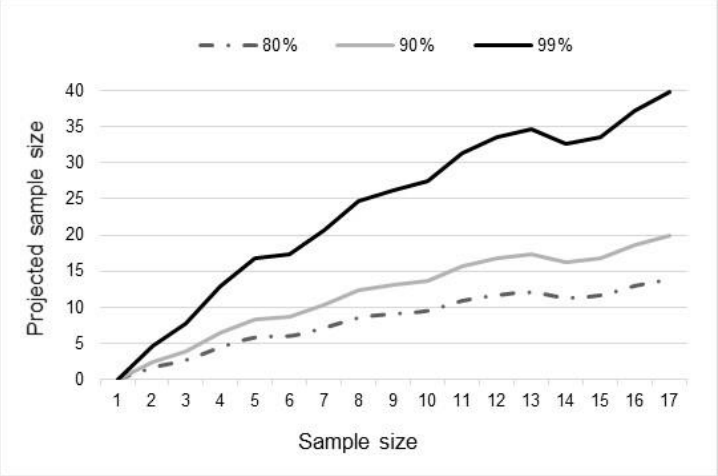


Figure 1. Required Sample Size estimated from Dataset #1.

Table 3. Projected sample size to achieve 80%, 90% and 99% of problem detection for Dataset #2

	Sample size															
Problem detection	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
80%	2	4	3	2	3	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7
90%	3	6	5	3	5	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10	10
99%	7	11	10	7	9	12	14	14	15	17	16	17	17	19	19	20

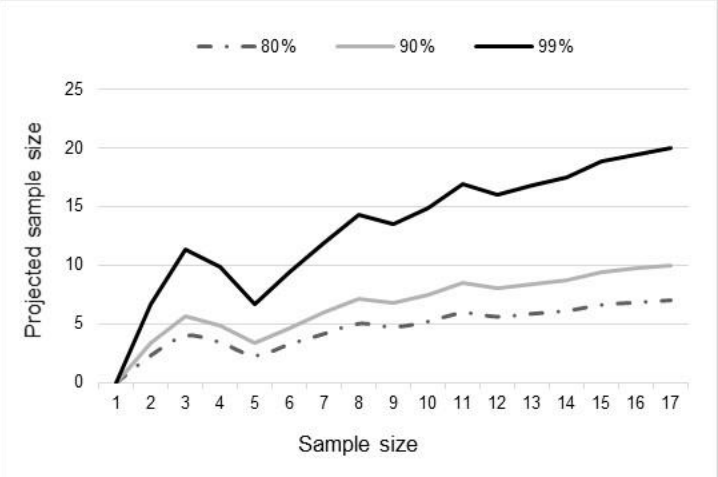


Figure 2. Required Sample Size estimated from Dataset #2.

3.2. Statistics of the distributions of the estimation of p

Monte Carlo simulation was undertaken to compute statistics of the distributions of the estimation of p, and the proportion of problems discovered for the two datasets as a function of sample size, across all permutations. The following statistics were computed:

a) Means of the estimates of p

Table 4 and *Figure 3* show the distribution of the means of the estimates of p as a function of sample size.

Table 4. Mean estimates of p for datasets 1 and 2

Sample size	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Dataset #1	1.00	0.53	0.37	0.29	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11
Dataset #2	1.00	0.62	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.21

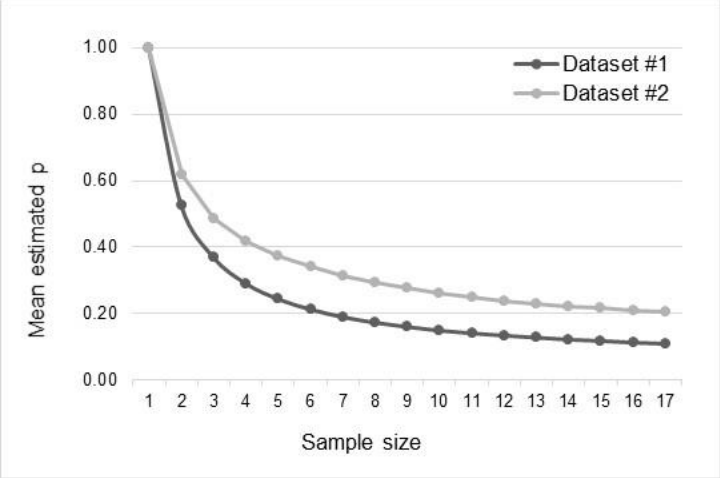


Figure 3. Mean estimated p as a function of sample size

b) *Overestimation ratios of mean estimated* p

The overestimation ratios were computed against the true value of p of each dataset, and provide a measurement of the deviation of the means of the estimates as a function of sample size. A ratio of 1 indicates no overestimation, while a ratio greater than 1 denotes a overestimation percentage equal to (ratio – 1)*100.

Table 5. Overestimation ratios for datasets 1 and 2

Sample size	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Dataset #1	9.15	4.83	3.39	2.67	2.23	1.95	1.74	1.58	1.47	1.37	1.29	1.23	1.17	1.12	1.08	1.04	1.00
Dataset #2	4.86	2.99	2.35	2.04	1.82	1.66	1.52	1.42	1.34	1.27	1.21	1.16	1.12	1.08	1.05	1.02	1.00

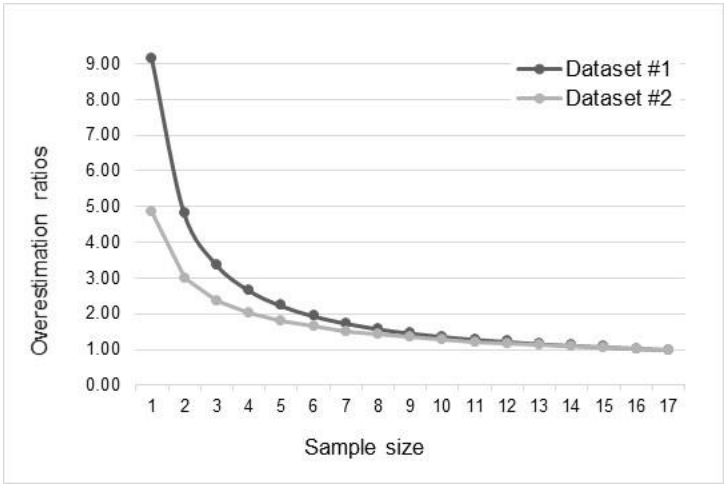


Figure 4. Overestimation ratios of p as a function of sample size

c) Root medium square error (RMSE) of mean estimated p

The root mean square error is the mean squared difference between each data point and the true value of p for the distribution. Compared to the standard deviation, the RMSE provides a more accurate measure of accuracy because it is sensitive to both the central tendency and variance. The lower the value the RMSE, the lower variance of the measurement. A RMSE of 0 indicates a perfect estimate.

Table 6. RMSE of mean estimated p for datasets 1 and 2

Sample size	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Dataset #1	0.89	0.43	0.27	0.19	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
Dataset #2	0.79	0.43	0.30	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00

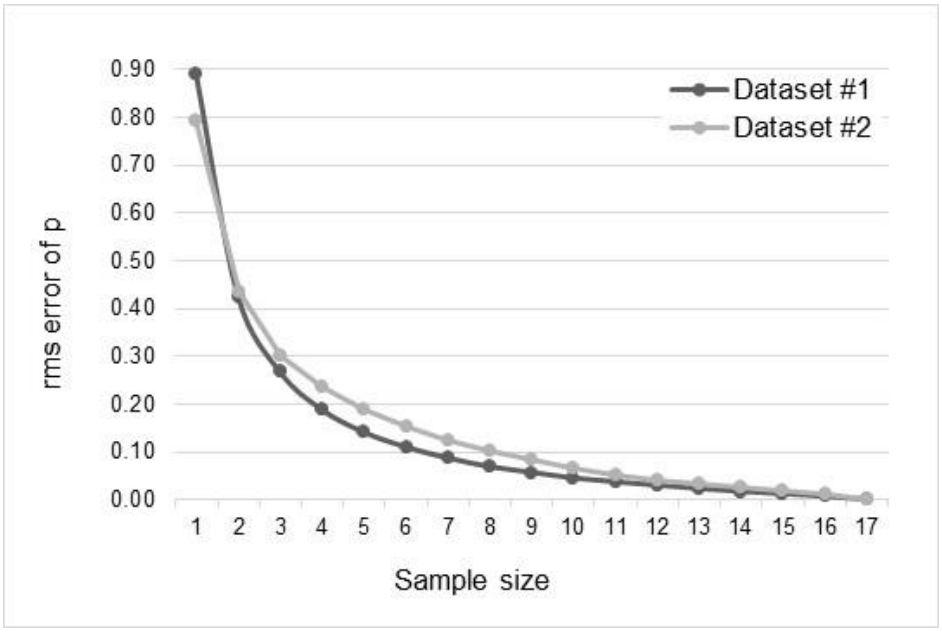


Figure 5. RMSE of estimated p as a function of sample size

3.3. Adjustment of the estimates of mean p

To adjust the estimates of the means of p, the method described in (Lewis, 2001) was used. Table 5 shows statistics of the distribution of adjusted p along with the same statistics of the distribution of the initial estimation.

Table 7. Statistics of the distribution of unadjusted and adjusted p for datasets 1, y 2

	DataSet #1			DataSet #2	
	Initial	Adjusted		Initial	Adjusted
median	0.27	0.16	median	0.27	0.07
average	0.34	0.18	average	0.16	0.09
mode	0.21	0.15	mode	0.11	0.06

3.4. Projected proportion of problems and sample for unadjusted, adjusted and true p

*Figure Figure **6**, Figure Figure **7***, and *Table 8* show the proportion of problems discovered against the projected sample size for the average values of p (initial, adjusted, and true) for both datasets.

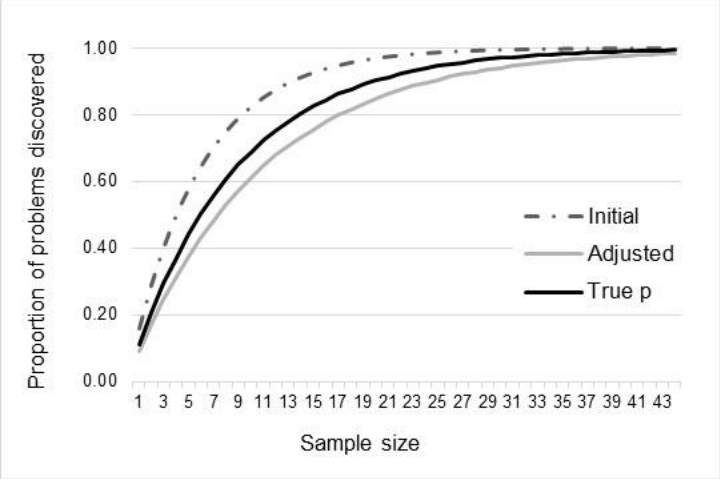


Figure 6. Proportion of problems discovered for Dataset #1 against projected p

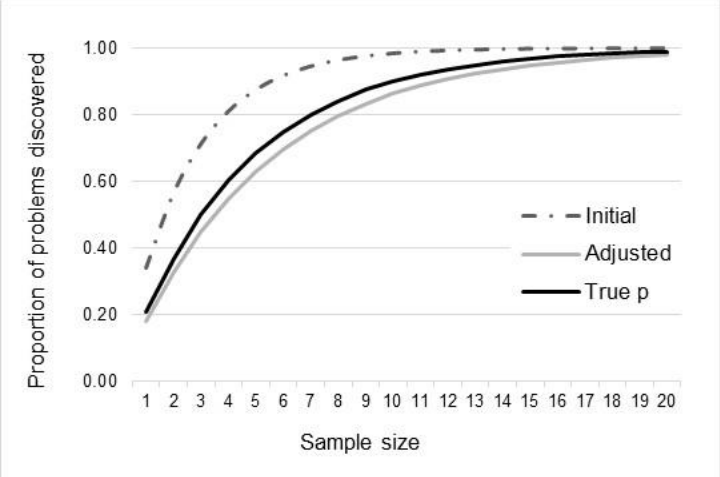


Figure 7. Proportion of problems discovered for Dataset #2 against projected p

Table 8. Proportion of problems discovered as function of p and sample size

	DataSet 2			DataSet 1		
Projected sample	Initial	Adjusted	True p	Initial	Adjusted	True p
1	0.34	0.18	0.21	0.16	0.09	0.11
2	0.56	0.33	0.37	0.29	0.17	0.21
3	0.71	0.45	0.50	0.41	0.25	0.30
4	**0.81**	0.55	0.60	0.50	0.31	0.37
5	0.87	0.63	0.68	0.58	0.38	0.44
6	**0.92**	0.70	0.75	0.65	0.43	0.50
7	0.95	0.75	**0.80**	0.70	0.48	0.56
8	0.96	**0.80**	0.84	0.75	0.53	0.61
9	0.98	0.83	0.87	0.79	0.57	0.65
10	0.98	0.86	**0.90**	**0.83**	0.61	0.69
11	**0.99**	0.89	0.92	0.85	0.65	0.72
12	0.99	**0.91**	0.94	0.88	0.68	0.75
13	1.00	0.92	0.95	**0.90**	0.71	0.78
14	1.00	0.94	0.96	0.91	0.73	**0.80**
15	1.00	0.95	0.97	0.93	0.76	0.83
16	1.00	0.96	0.98	0.94	0.78	0.85
17	1.00	0.97	0.98	0.95	**0.80**	0.86
18	1.00	0.97	0.98	0.96	0.82	0.88
19	1.00	0.98	**0.99**	0.96	0.83	0.89
20	1.00	0.98	0.99	0.97	0.85	**0.90**
21	1.00	0.98	0.99	0.97	0.86	0.91
22	1.00	**0.99**	0.99	0.98	0.87	0.92
23	1.00	0.99	1.00	0.98	0.89	0.93
24	1.00	0.99	1.00	0.98	**0.90**	0.94
25	1.00	0.99	1.00	**0.99**	0.91	0.95
26	1.00	0.99	1.00	0.99	0.91	0.95
27	1.00	1.00	1.00	0.99	0.92	0.96
28	1.00	1.00	1.00	0.99	0.93	0.96
29	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.97
30	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.97
31	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.97
32	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.98
33	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98
34	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98
35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98
36	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.98
37	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	**0.99**
38	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99
39	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99
40	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99
41	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99
42	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99
43	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99
44	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99

Note. Highlighted rows indicate the projected sample size required to uncover 80%, 90%, 99% of problems

4. Discussion

4.1. Parameter estimation

There are two quite significant outcomes from the analysis of the parameter estimation (Figure 1 and Figure 2). The first brings into question the rules of thumb proposed by Virzi (1992), Nielsen and

Landauer (1993), and Lewis (1994), in the estimation of the number of user tests required to obtain the desired level of problem discovery.

The second significant outcome is the impact on the sample size of users required for increasing levels of problem discovery. As can be seen from the results from both data-sets, the amount of extra testing required to reach a 99% problem discovery outcome is significantly higher than that of the 90% level. This points towards a higher marginal cost of each extra problem discovered, especially once past the 90% threshold.

The analysis also confirms the commentary by Lewis (1994) on the variability problems associated with using small samples to estimate the number of samples needed for the required level of problem discovery. Even though the goal of Lewis' adjustments to the p value were to designed improve the calculation of the sample size required for smaller data-sets, the smaller user-test end of the scale for both data-sets showed quite a lot of variability between the test sets, however on both charts the results level out after about eight or nine user tests, thus providing a level of comfort in the suggested sample size results.

This eventual levelling out of results suggests a way to use this type of analysis in practice. If the percentage of problem discovery required is known, after each user test this analysis can be run to determine if more tests are required. For example, if 90% problem discovery is required, if this analysis had been done with Data-Set #1 then it would have been discovered that somewhere between 30 and 40 tests were required, thus pushing the testing past the actual 17 test users. Conversely, testing on Data-Set #2 could have stopped earlier as only 12 or 13 tests were required to hit the 90% problem discovery threshold.

In both scenarios, the question remains as to the "levelling out" point. However, this could be calculated using traditional statistical techniques.

4.2. Overestimation and adjustment of p

Analysis of the distribution of the estimates of p confirms the assertion in (Lewis, 2000) that the effect of overestimation is significant for small samples. Figure 3 shows that the means of the estimates increment their deviations exponentially as the size of the sample used to estimate decreases. In Figure 4, all samples less than 8 produce an overestimation greater than 50%, while in Figure 5 the RMS error grows consistently as the sample size shortens. Tables Table ***5*** and Table ***6*** confirm this trend. Considering the overestimation ratios, and the RMS errors of the mean estimates, it is evident that the smaller the sample the lower the accuracy of the estimation.

Comparison of the projected proportion of problem detection (and the associated sample size) computed with the initial estimate, the adjusted estimate, and true p (Table 6) shows that the initial estimate reaches a proportion greater than 80% earlier than the adjusted estimated, and the true value of the problem discovery rate. For dataset 1, the projected sample size to achieve 80% of

problems is 9 when computed with the initial estimate (5 testers less that the required sample calculated with true p), while the adjusted estimate projects a required sample of 17 users. On the other hand, for dataset 2, the difference between the projected sample computed with the initial estimates and the true sample size is lower (3 users). However, it is worth to note, that the error of estimation increases for 90% and 99% of problem detection. This can be observed in Figure 6 and Figure 7 where the adjusted estimation is closer to the true projection than the initial estimation is.

Several studies (Virzi, 1992), (Nielsen & Landauer, 1993), (Lewis, 1994), (Caulton, 2001), (Turner, Lewis, & Nielsen, 2006), (Hwang & Salvendy , 2010) suggest that when conducting user testing it is sufficient to use rules of thumb such as 4±1and 10±2 to estimate the number of users required.

In our study, we discovered that the use of such rules of thumb would have underestimated the actual number of users required to achieve reasonable levels of problem discovery. In the two data-sets studied, the number of users required to achieve 90% problem discovery were 20 and 10 respectively. This coincides with findings in (Bevan, et al., 2003), (Woolrych & Cockton, 2001), (Spool & Schroeder , 2001), (Faulkner, 2003), and (Lindgaard & Chattratichart , 2007). Furthermore, using small sample sizes can also be problematic as this produces large variability in testing results which cannot be fully adjusted for.

Since the potential costs of achieving problem discovery at the 99% level are significantly higher than that of achieving the 90% level, the use of these levels should be carefully considered unless the development is for applications for which the cost of problems is quite high.

One of the exciting possibilities of the results of this study would be the inclusion of continual problem discovery metrics into a user testing regime. Through continual testing of results, developers could optimize their testing to only include the required number of tests up to the desired problem discovery rate. This has the potential to concentrate testing resources on those cycles that need it rather than equally spreading resources across all cycles.

One possible scenario of use for the 4±1 rule is in time constrained agile cycles, more appropriately towards the start of projects. At this part of the project cycle, there is almost no point in discovering 100% or even 90% of possible problems if development is moving a pace which essentially wipes these problems out or replaces them with new ones.

If a project is severely budget limited, then rules of thumb such as 4±1and 10±2 will also come into play, although we would suggest that the 4±1 rule be only used on relatively simple projects.

This study was conducted in a specific project. However, the applied methodology could be applied to different project task types, different user groups and different environments to see if the rules of thumbs on the number of user tests required can be specified for different type of build projects of

differing complexity and task orientation. Such analyses should use at least eight or nine user tests in their parameter estimation to eliminate the small sample size issues that presented in this study.

Bibliography

Bevan, N., Barnum, C., Cockton, G., Nielsen, J., Spool, J., & Wixon , D. (2003). The "magic number 5": is it enough for web testing? In ACM (Ed.), *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '03)*, (pp. 698-699). Ft. Lauderdale, Florida, USA.

Caulton, D. (2001). Relaxing the homogeneity assumption in usability testing. *Behaviour & Information Technology, 20*(1), 1-7.

Faulkner, L. (2003). Beyond the five-user assumption: Benefits of increased sample sizes in usability testing. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 35*(3), 379-383.

Hertzum, M., & Jacobsen, N. (2001). The evaluator effect: A chilling fact about usability evaluation methods. *International Journal of Human-Computer Interaction, 13*(4), 421-443.

Hwang, W., & Salvendy , G. (2010). Number of people required for usability evaluation: the 10±2 rule. *Commun. ACM, 53*(5), 130-133.

Lewis. (1994, June). Sample sizes for usability studies: Additional considerations. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 36*(2), 368-378.

Lewis. (2000). *Overestimation of p in problem discovery usability studies: How serious is the problem.* Tech. Rep.

Lewis. (2000). *Validation of Monte Carlo estimation of problem discovery.* Raleigh, NC: International Business Machines Corp.

Lewis. (2001). Evaluation of procedures for adjusting problem-discovery rates estimated from small samples. *International Journal of Human-Computer Interaction, 13*(4), 445-479.

Lindgaard, G., & Chattratichart , J. (2007). Usability testing: what have we overlooked? In ACM (Ed.), *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (pp. 1415-1424). San Jose, California, USA.

Nielsen, J., & Landauer, T. (1993). A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems. In ACM (Ed.), *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, (pp. 206-213). Amsterdam, The Netherlands.

Spool, J., & Schroeder , W. (2001). Testing web sites: five users is nowhere near enough. In ACM (Ed.), *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, (pp. 285-286). Seattle, Washington.

Turner, C., Lewis, J., & Nielsen, J. (2006). Determining usability test sample size. *International encyclopedia of ergonomics and human factors, 3*(2), 3084-3088.

Virzi, R. (1992, August). Refining the test phase of usability evaluation: How many subjects is enough? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 34*(4), 457-471.

Woolrych, A., & Cockton, G. (2001). Why and when five test users aren't enough. In C. Editions (Ed.), *Proceedings of IHM-HCI 2001 conference*, *2*, pp. 105-108. Toulouse, FR.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.186 - 200
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Soluciones de Bajo Costo Usando el Modelo Infraestructura como Servicio con Alta Disponibilidad y Virtualización

(Low-Cost Solutions Using the Infrastructure as a Service with High Availability and Virtualization Model)

Cesar Armando Moreira Zambrano[1], Walter Daniel Zambrano-Romero[2], Rene Guamán-Quinché[3], Wilner Geoberti Cuenca Álava[4]

Resumen:
En esta publicación se presentan los resultados obtenidos de la implementación de una infraestructura para mejorar los servicios tecnológicos de correo electrónico, entorno virtual de aprendizaje, repositorio digital y biblioteca virtual en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ESPAM, mediante la utilización de mecanismos de alta disponibilidad y virtualización para ofrecer recursos de mayor confiablidad. La virtualización es una tecnología potenciadora de vanguardia que está transformado el funcionamiento de servicios tecnológicos, pero, implica un cambio de paradigma en las tecnologías de la información orientada a los servicios y la computación en la nube. Para ejecutar cada uno de los procesos, se empleó, como estrategia, la metodología ciclo en V. Los servicios de virtualización fomentan que las empresas e instituciones transformen su forma de operar para estar a la vanguardia en innovación de sus servicios como solución tecnológica, es así que la implementación de tecnología redundante en la ESPAM, le ha permitido que sus servicios tecnológicos estén siempre operativos, en beneficio de la comunidad universitaria, ya que si se presentaren fallos en el sistema principal o los servicios, se habilitarán rápidamente los respaldos permitiendo que los sistemas entren en operación de inmediato.

Palabras Clave: Alta disponibilidad; Computación en la nube; Computación distribuida; Nube educativa; Virtualización.

Abstract:
This paper presents the results obtained from the implementation of an infrastructure to improve technological services of email, virtual learning environment, digital repository and virtual library at the Polytechnic Agricultural Higher School of Manabí (Polytechnic School of Agriculture of Manabí), ESPAM, through the use of high availability and virtualization mechanisms to provide more reliable resources. Virtualization is an empowering and cutting-edge technology that is transforming the operation of technological services, but it involves a paradigm shift in service-oriented information technologies and cloud computing. To execute each of the processes the V-cycle methodology was used as a strategy. Virtualization services empowers companies and institutions by transforming how they operate to be at the forefront of innovation in their services as a technological solution. So the implementation of redundant technology in the ESPAM, has allowed its technological services are always operative, for the benefit of the university community, because if there were failures in the main system or services, the backups will be enabled quickly allowing the systems come into operation immediately.

Keywords: High availability; Cloud computing; Distributed computing; Educational cloud; Virtualization.

[1] Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta – Ecuador (cmoreira@espam.edu.ec)
[1] Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo – Ecuador (walter.zambrano@fci.edu.ec)
[1] Universidad Nacional de Loja, Loja – Ecuador (rguaman@unl.edu.ec)
[1] Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo – Ecuador (wilner.cuenca@fci.edu.ec)

1. Introducción

Las redes de Infraestructura como Servicio, también conocidas como IaaS por su sigla del inglés Infrastructure as a Service, nos ofrecen la posibilidad de administrar de una manera más óptima los recursos de hardware; además, de analizar y evaluar el Software como Servicio, SaaS – Software as a Service, y la Plataforma como Servicio, PaaS–Platform as a Service. La virtualización de los recursos de hardware posibilita contar con el hardware que se necesite, creando y destruyendo máquinas virtuales en tiempo real para adaptarse a la potencia requerida en todo momento, mejorando la calidad de estos servicios. De esta forma, para realizar la misma carga de trabajo, una red IaaS necesitará menos recursos de hardware que una red de servidores convencionales.

La funcionabilidad de una IaaS radica en una oferta altamente automatizada, donde los recursos informáticos, complementados con las capacidades de almacenamiento, se gestionan más eficientemente, por lo que se necesita que la Infraestructura como Servicio sea un modelo de provisión, en el que una organización externaliza el equipo utilizado para apoyar sus operaciones, incluido el almacenamiento, hardware, servidores y los componentes de red (Buyya, R. et al., 2009). En la actualidad, la informática persigue un modelo orientado a los servicios en tiempo real, a como se ofrecen los servicios de luz, agua, teléfono, gas, etc.

La informática para investigaciones, denominada computación de alto rendimiento, usa potentes herramientas y procesos de computación para generar datos en investigaciones académicas avanzadas. Con un clúster de computación de alto rendimiento, los centros de investigación pueden obtener la velocidad y potencia de una costosa supercomputadora a una fracción del costo y con menos riesgo de sufrir tiempos de inactividad prolongados (Chuquiguanca, L. et al., 2015)

En modelos existentes actuales, los servicios son otorgados en línea para los usuarios y están disponibles en el momento en que estos son requeridos. Además, los usuarios utilizan los servicios sin la preocupación de donde se encuentren, ejecutándolos desde sus equipos de cómputo. Así, los servicios de cómputo ofrecidos permiten realizar en línea todos los procesos de usuario y el almacenamiento de la información, en lugar de ejecutarlos en una computadora local. Esto conlleva, como consecuencia lógica, que el usuario requiera de equipos de cómputo menos sofisticados, con el consiguiente ahorro en la adquisición del equipo, por ende, disminución en el consumo de energía, así como menor gasto en software de aplicación.

El precio del hardware disminuye según los niveles de desarrollo de tecnología, haciendo posible a las empresas comprar servidores cada vez más potentes. Sin embargo, los gastos operacionales, como el mantenimiento de servidores, tienen un crecimiento progresivo, por lo que

se hace necesario administrar mejor los recursos de hardware o incluso se puede pensar en externalizar este servicio (Zambrano, W. et al., 2015). La computación en la nube cuenta con recursos que se acceden desde cualquier sistema fijo o móvil, mediante el internet; los clientes utilizan únicamente los recursos que realmente necesitan, y pagan por el uso de ese servicio a un precio relativamente bajo en comparación con el costo de tener una infraestructura propia, misma que demanda elevados gastos operativos y financieros.

La reducción en el número de servidores implica una disminución de costos, tanto a nivel de adquisición de nuevos servidores como su mantenimiento, al reducirse las tareas de administración. Además, la reducción del número de servidores conlleva a una optimización del espacio físico, una disminución del consumo eléctrico, tanto en el consumo de los servidores como el de refrigeración. Por tanto, las soluciones de las IaaS ofrecen a las empresas la posibilidad de un crecimiento más sostenible, tanto económico como medioambiental (Guirao Villalonga, A. 2011).

Además, el uso del clúster permite reducir el tiempo de resolución de problemas computacionales, más aun, resolver problemas que no cabrían en la memoria de un solo procesador secuencial. Para esto, es necesario utilizar sistemas de altas prestaciones y algoritmos paralelos que utilicen estos sistemas de manera eficiente (Sheharyar, A. & Bouhali, O. 2014).

La investigación se centró en el estudio de la computación en la nube y la Infraestructura como Servicio y su viabilidad en la virtualización de los diferentes sistemas, optimizando recursos físicos y brindando soluciones de alta disponibilidad y bajo costo para la ESPAM.

2. Metodología

La investigación se realizó en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Los materiales utilizados fueron: la Infraestructura como Servicio, el sistema de virtualización, sistemas de almacenamiento masivo y sistemas operativos tradicionales con la finalidad de proveer una alta disponibilidad y confiabilidad de operatividad de los servicios que ofrece la ESPAM. La ejecución se realizó mediante el método informático ciclo en V, y se contemplaron las fases de: especificaciones, diseño de alto nivel y de detalle, implementación, y finalmente la del test unitario, de integración y operacional.

Las plataformas en nube de IaaS son la tecnología innovadora, que garantiza la estabilidad de aplicaciones críticas, implementando el verdadero criterio de sistemas distribuidos que actualmente está alcanzando un nivel prometedor a las soluciones informáticas, garantizando seguridad y escalabilidad a través de mecanismos de redundancia.

2.1. Fase de Especificaciones

En esta fase se detalla el análisis de los procedimientos que se realizan en el centro de datos de la ESPAM tomando como punto de partida las características del hardware que posee la institución, mediante una entrevista al personal que labora en el área de tecnología para verificar las necesidades y falencias de los equipos servidores, obteniéndose el detalle de los respectivos sistemas que posee la institución y su nivel de seguridad.

En los sistemas de computación en la nube se debe considerar que se puede contar con tres modelos de capas: SaaS, PaaS e IaaS, cada uno puede ser usado en diferentes campos de la educación, a como se indica en la *Figura 1* (Sociedad Española Informatica. 2011). En esta investigación se usó el modelo IaaS como mecanismo de solución de bajo costo en la implementación de servidores virtualizados.

Figura 1. Modelos de computación en la nube en la educación.

2.2. Beneficios del Uso de la Computación en la Nube en la Educación

Los beneficios de contar con una infraestructura de IaaS privada en un centro educativo, que imparta formación relacionada con las TIC, ofrece al alumnado la oportunidad de instalar, configurar y administrar diferentes plataformas de sistemas operativos, acrecentando su formación en un campo que, sin duda, es uno de los más compactos con un futuro prometedor en la informática actual (Nazareno, G. 2012). *Figura 2*.

Figura 2. Beneficios del uso la computación en la nube en la educación.

Desde el punto de vista de uso educativo de la nube, la IaaS es adecuada en planes formativos muy diversos y está ampliamente extendida y utilizada en todos los niveles educativos, es la base de lo que se conoce hoy en día como Educación 2.0. Por su parte, el interés sobre las PaaS en la nube proviene fundamentalmente de los estudios relacionados con el desarrollo de software. Por último, los estudios relacionados con los sistemas y redes tienen un nuevo campo de acción con las IaaS en la nube, principalmente privados, que permiten manejar y conocer todos los niveles de esta tecnología (Nazareno, G. 2012).

2.3. Fase de Diseño de Alto Nivel y de Detalle

En esta fase se diseñó la infraestructura IaaS, *Figura 3*, para mejorar los servicios que provee la ESPAM a sus estudiantes, de forma que las aplicaciones estén en ejecución las 24 horas del día, debido a la robustez de esta infraestructura que se expresa en la estabilidad y alta disponibilidad, y así los servidores virtuales con aprovisionamiento automatizado den constante soporte a las aplicaciones.

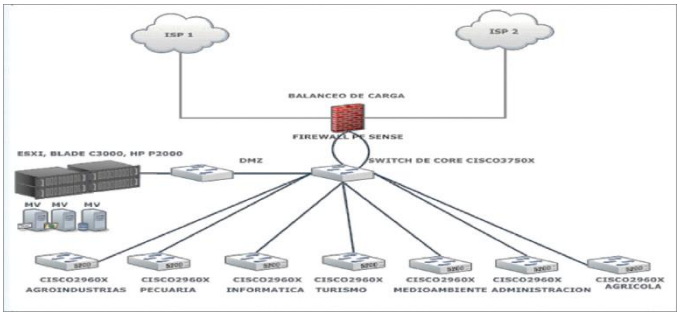


Figura 3. Diagrama de red de IaaS del centro de datos de la ESPAM.

2.4. Análisis de Redes y Comunicación Redundante

La Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí no contaba con un centro de datos, principalmente, por ser una institución con pocos años de funcionamiento, adicionalmente los equipos de cómputo que tenía no eran los más idóneos para configurar servidores que garantizaran una continuidad de las aplicaciones provistas a los estudiantes, docentes y personal administrativo.

Actualmente, la universidad cuenta con 1.320 computadoras, de las cuales 463 se destinan a las labores informáticas que realiza el personal administrativo y 857 para las prácticas de laboratorio de los estudiantes. Adicionalmente, la institución dispone de un centro de datos moderno de alta estabilidad, que, con el desarrollo de este trabajo le permite contar con una nube de IaaS privada, en la que se han implementado máquinas virtuales, con almacenamiento independiente en arreglos de discos RAID, lo que garantiza que los datos estén preservados mediante mecanismos de respaldo, con la finalidad de salvaguardar la información. *Figura 4*. Todo este conjunto de acciones le permite a la ESPAM tener un centro de datos de alta confiabilidad de la operatividad de sus aplicaciones y acceso a la información.

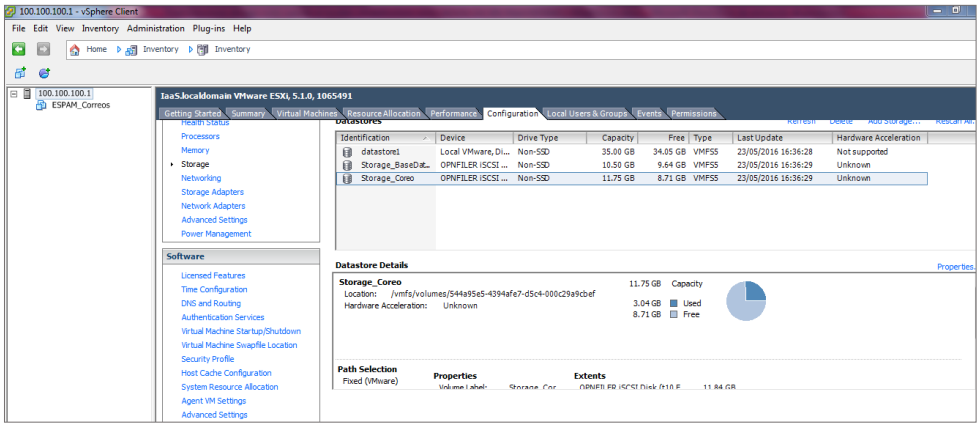


Figura 4. Sincronización con almacenamiento independiente.

Por otra parte, la institución cuenta con un ancho de banda de 60 MB, suministrados por TELCONET, dedicados a la comunidad universitaria, y un enlace redundante de 20 MB, contratado con CNT, para uso del centro de datos, esto permite realizar un balanceo de carga de los proveedores del servicio de internet.

La seguridad de acceso al centro de datos está controlada por equipos biométricos, dentro del cual los únicos que tienen acceso son el Administrador del Centro de Datos y el Director de la Carreta de Informática.

2.5. Fase de Implementación

Para la ejecución, se realizaron pruebas de sistemas de virtualización libres como propietarios dentro de los cuales se utilizaron OpenNebula, OpenStack, Citrix Xen Server, y VMWare, demostrando este último ser más ergonómico y con más características para poder realizar una administración centralizada haciendo uso del sistema operativo nativo Esxi 5.0 que sería la base para correr las máquinas virtuales, naciendo de esta manera la nube privada de la ESPAM, mismo que contendrá todos los servidores que actualmente se mantienen operativos en la universidad. A raíz de esta implementación, las autoridades, personal docente, personal administrativo y estudiantes en general notaron el cambio tecnológico efectuado en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, dando pauta al crecimiento de la institución. Además, se realizó la integración de las instancias virtuales con el almacenamiento masivo HP P2000, logrando de esta manera una distribución de sistemas estables, confiables, redundantes y de bajo costo.

La segunda fase consistió en la configuración de las máquinas virtuales y la instalación de los sistemas operativos que contendrán las diferentes aplicaciones, como: correo electrónico, entorno virtual de aprendizaje, aplicaciones web, sistemas de matriculación y consulta de notas online, sistema de asistencia de estudiantes, y otros sistemas que se necesiten de acuerdo a la demanda del centro educativo. *Figura 5*.

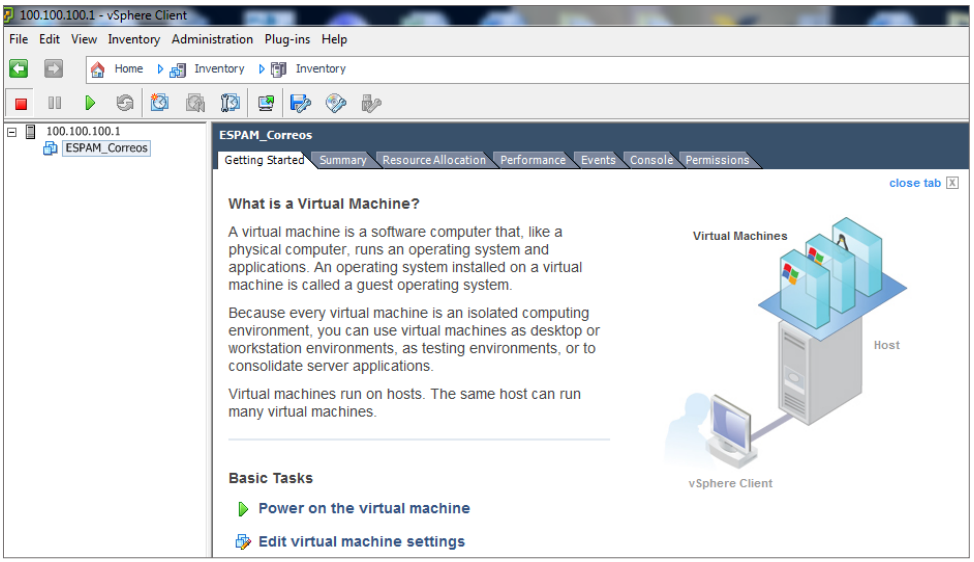


Figura 5. Servidores virtualizados de la ESPAM.

Las ventajas a nivel técnico son fácilmente comprensibles y los beneficios económicos de igual manera. Mostrando mejoras en la efectividad y agilidad organizacional que permite ahorrar costos a las empresas e instituciones educativas.

2.6. Fase del Test Unitario, de Integración y Operacional

Esxi es el sistema operativo o hypervisor más potente de VMware que se instala sobre un servidor físico y crea particiones de múltiples máquinas virtuales, las cuales comparten los mismos recursos físicos que las demás y todas pueden ejecutarse al mismo tiempo sin interrumpirse una de las otras (vmware, 2014). Para las pruebas, realizamos la virtualización de un servidor de correo de manera correcta, pudiéndose visualizar el desempeño en un nivel óptimo, a como se muestra en la *Figura 6*.

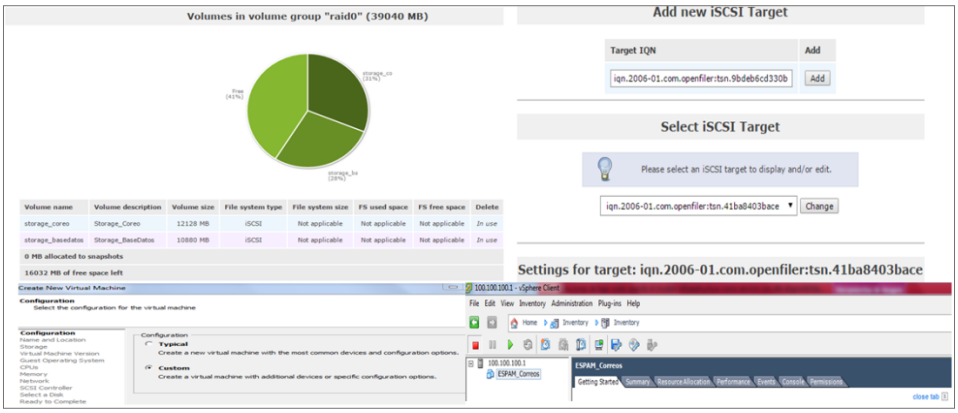


Figura 6. Virtualización del servidor de correos de la ESPAM.

Para realizar los respaldos de cada una de las instancias virtualizadas y de los volúmenes lógicos de almacenamiento se utilizó *Nakivo backup replication*, lo que permitió minimizar los tiempos de respuestas ante fallos, debido a que es una herramienta que cumple las características apropiadas para realizar los respaldo y restauración en periodos de tiempos cortos, por la tecnología que integra, manteniendo la seguridad en todo momento. *Figura 7*.

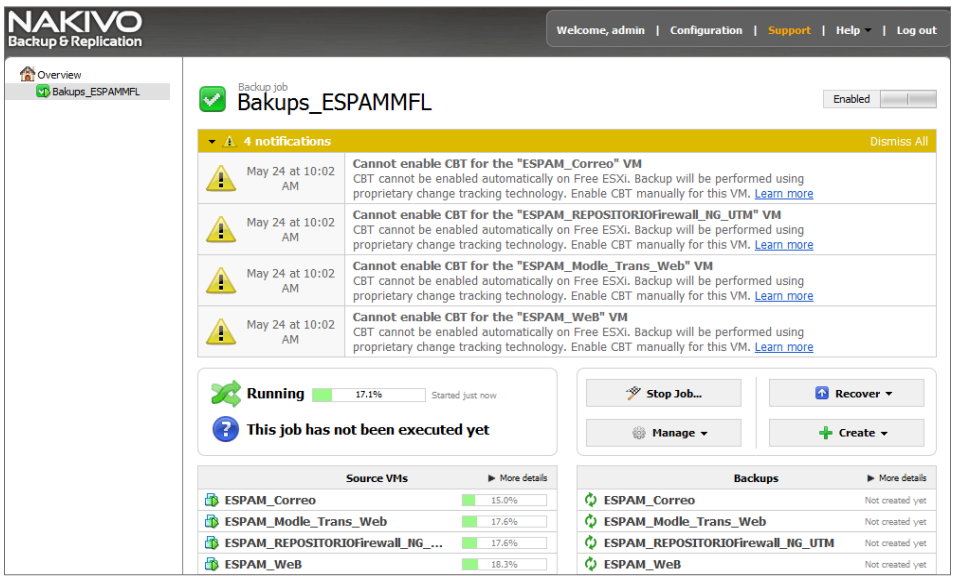


Figura 7. Virtualización de servidor de correo de la ESPAM.

Otros pruebas realizadas fue la aplicación de vMotion para la migración de máquinas en centros de datos alternos es una tecnología moderna de VMware que permite la migración de las máquinas virtuales desde un host esxi hacia otro host sin perder el servicio, siempre y cuando la configuración de Vmotion se realice adecuadamente tomando en cuenta que para su utilización Vmotion debe estar conectado entre dos host por medio de un medio físico potadora que sea dedicado. Es recomendable la utilización de dos interfaces de red sean estas fiber chanel o iSCSI ya que en vSphere 5 se puede usar múltiples conexiones de red para que el vmkernel balancee la carga entre las dos tarjetas de red logrando con esto la reducción en el tiempo de migración de una máquina virtual desde un host al otro para las pruebas usamos la interfaz vmnic9 como se muestra en la *Figura 8*.

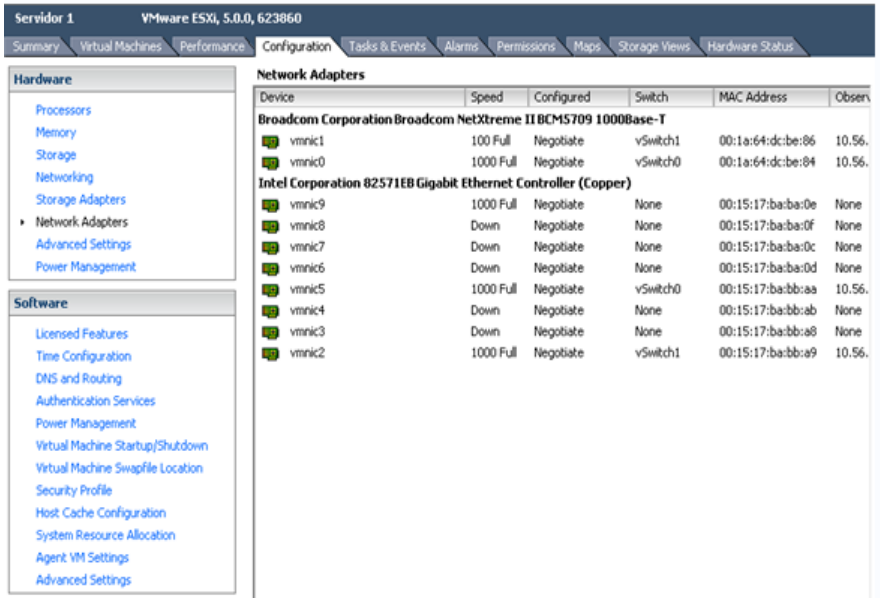


Figura 8. Interfaz vmnic9 que no tiene ningún virtual switch asignado

3. Resultados y Discusión

Los resultados que se obtuvieron al implementar en la nube de la IaaS del centro de datos de la ESPAM, infraestructura moderna que cuenta con un almacenamiento masivo de 12 discos SAS, de 600 GB cada uno, dos cuchillas incrustadas en el servidor *blade* C3000 con 2 procesadores Xeon de 64 bits y 16 GB de memoria RAM.

El uso de la virtualización, sistemas redundantes, y la utilización de un sistema RAID conlleva a que se puedan generar volúmenes de almacenamiento masivo en el tiempo de un minuto, mientras que, utilizando la tecnología tradicional, sistemas físicos, se requiere de unos 120 minutos, lo que demuestra la eficiencia de esta técnica, a como se ilustra en la *Figura 9*.

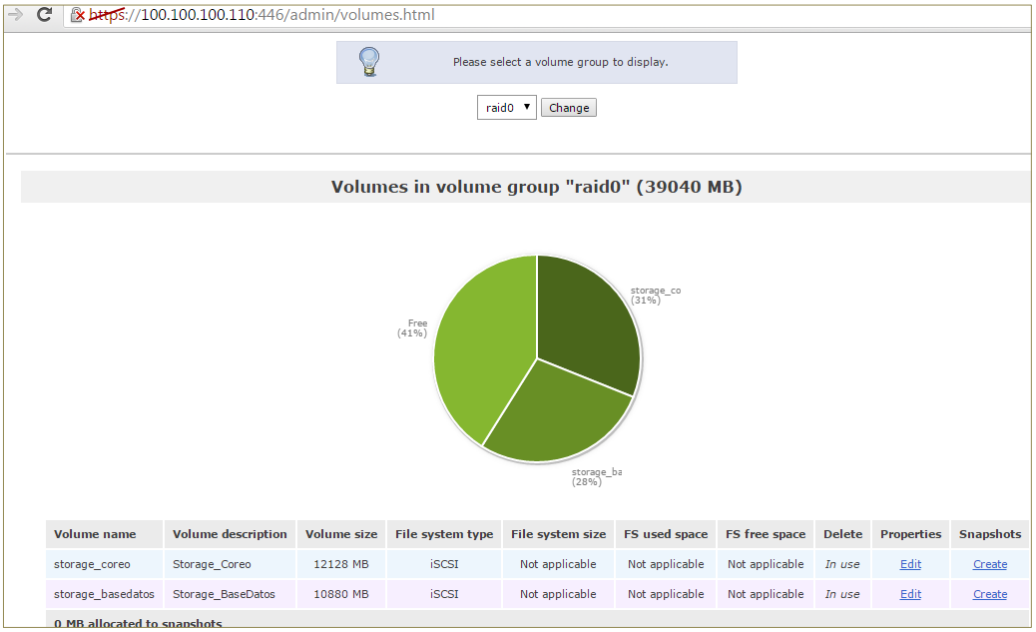


Figura 9. Uso del RAID y volúmenes lógicos de la ESPAM.

Las pruebas realizadas en la infraestructura como servicio en comparación con los servicios tradicionales arrojaron los resultados que se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Comparativa entre servidores virtuales versus servidores tradicionales.

Procesos	Servidores tradicionales	Infraestructura como servicio
Adquisición de un nuevo servidor	5 a 15 días para la provisión del nuevo hardware	5 a 15 minutos para la creación de una máquina virtual
Migraciones	5 a 8 horas de migración, en este caso el servicio se interrumpe.	3 a 6 minutos de migración, en caliente sin interrupción del servicio.
Mantenimiento de hardware	2 a 4 horas de mantenimiento	Casi cero, se hace fuera línea

Esta implementación, mediante la virtualización, mejoró la administración, seguridad y disponibilidad de los servicios, aprovechando los recursos del servidor *blade* C3000, integrándolo fácilmente con un almacenamiento independiente, con lo que se integraron cada uno de los sistemas operativos y las aplicaciones, a como se muestra en la *Figura 10*.

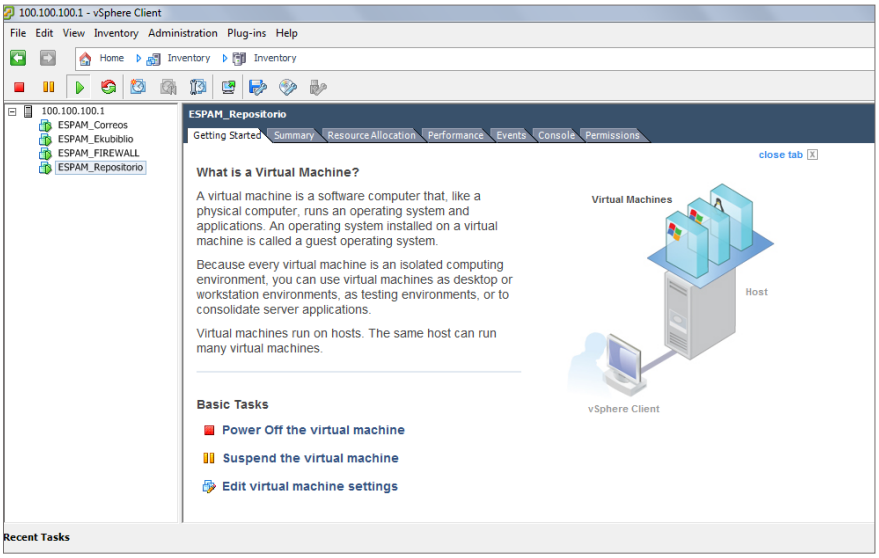


Figura 10. Sistemas operativos y aplicaciones virtualizadas de la ESPAM.

En la *Figura 11* se realizan las asignación de IP Cabe indicar que el servidor A debe estar en la misma sub red del servidor B ip servidor A 50.50.50.1, ip servidor B 50.50.50.2 Luego de haber creado la función vMotion en cada uno de los servidores esxi A y esxi B procedemos a realizar la comprobación para la migración de la máquina virtual del host A al host B.

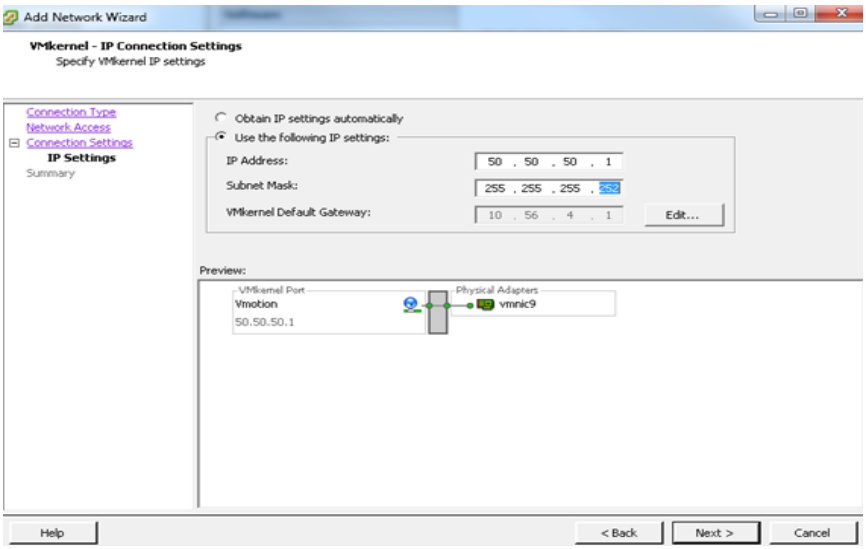


Figura 11. Asignación de la IP correspondientes para tener la conectividad del host A hacia el host B.

El tiempo en realzar la configuración de Vmotion y configuración del vmkernel en cada uno de los host esxi son muy corto alrededor de 5 minutos por host. La migración de la maquinas virtual de un host A hacia un host B haciendo uso de una sola interfaz de red es de para este ejemplo fue de 47 segundo.

La migración de las máquinas virtual de un host A hacia un host B configurado las dos tarjetas de red el tiempo se puede reducir considerablemente a 22 segundos, por que como hemos comentado antes Vmotion es capaz de usar múltiples tarjetas de red para realizar la migración.

El uso de la IaaS en la educación, en la ESPAM, ha permitido ofrecer servicios informáticos en forma de recursos, como mecanismo de ayuda, a los estudiantes en las pruebas, el hardware es configurado a la medida y necesidades de las aplicaciones. Permite, además, una buena agilidad y eficiencia, reduciendo los costes de adquisición e instalación y mejorando la gestión de la información digital de cualquier organización, a través de una implementación sencilla y flexible. Los tiempos que se utilizan para poner en marcha un sistema o aplicación mediante virtualización es de cinco a quince minutos; en cambio, con el sistema tradicional, implementación en hardware, es de una hora y cuarenta cinco minutos.

Al implementar una arquitectura de comunicaciones organizacional con las características de nube e IaaS en la Universidad de Cartagena se logra un conjunto de beneficios, todos orientados a la consecución eficiente, sencilla, económica y eficaz de los objetivos de la empresa mediante la optimización de recursos de hardware, software y sobre todo el recurso humano (Tarrá-Reyes, A. et al., 2013).

Los usuarios pueden desplegar máquinas virtuales en la infraestructura física de la IaaS en tiempos muy cortos, en los casos críticos en pocos minutos, por lo que se reduce significativamente el tiempo y coste asociado de puesta en marcha de nuevos sistemas. Además, la capacidad de ampliación de los recursos de hardware es bastante menos costosa y rápida que en el tradicional, por lo que se puede incrementar la capacidad de almacenamiento en solo minutos, dependiendo de la necesidad solicitada por el cliente (Orsi, 2010).

El realizar respaldos utilizando *Nakivo*, permite respaldar y replicar, en centros de datos alternos, todo el sistema operativo en caliente con las diferentes aplicaciones que se encuentren alojadas en el servidor virtual, incluyendo switches virtuales y todas las configuraciones, adicionalmente, lo permite hacer en tiempos muy cortos, unos sesenta minutos; mientras que, utilizando respaldos tradicionales solo se guardan los datos, y para poder guardar también la configuración general del sistema en producción, es decir, respaldar el sistema completo, se requerirá de un mayor tiempo, unas seis horas.

La utilización de sistemas redundantes permite que la información que está en una instancia virtual se replique en otra instancia virtual, manteniendo los mismos datos e información de forma integrada, sean estos hardware de carácter crítico, que se quiere asegurar ante posibles fallos que puedan surgir por su uso continuado, o software, que se pudiere afectar por la manipulación del usuario final o administrador. Lo que se da como una solución a los problemas de protección y confiabilidad en más de una estación, ya que si alguna de las instancias dejara de funcionar o colapsara, inmediatamente otra instancia ocupará su lugar tomando el control.

Migración dinámica de cargas de trabajo vSphere vMotion permite trasladar toda una máquina virtual en funcionamiento de un servidor físico a otro, sin tiempo de inactividad. La máquina virtual

conserva la identidad y las conexiones de red, lo que garantiza un proceso de migración sin problemas. Transferir la memoria activa y el estado de ejecución preciso de la máquina virtual a través de una red de alta velocidad para que la máquina virtual pase de ejecutarse en el host de origen de vSphere a ejecutarse en el host de destino de vSphere. Todo este proceso dura menos de 22 segundos en una red Gigabit Ethernet. Esta función puede realizarse a través de conmutadores virtuales, vCenter Servers e incluso a grandes distancias.

(Alzoubaidi, A. R. 2016). Para la implementación exitosa de Cloud Computing en las organizaciones debe llevarse a cabo un análisis riguroso para los requisitos del programa y su crecimiento futuro. A la arquitectura de la solución del datacenter, datos, archivo Bases de datos, sistema de almacenamiento, infraestructura y soporte. Servicios necesarios para una solución unificada el cual se realizó en el área salud en nuestra investigación hemos realizado la implementación en educación.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Mediante la implementación de un sistema de Infraestructura como Servicio, usando la virtualización, en la ESPAM, se mejoró la confiabilidad de los servicios tecnológicos brindados a la comunidad estudiantil. El hecho de ofrecer aplicaciones redundantes, mediante un conjunto de máquinas virtuales que comparten, entre otros, almacenamiento, memoria RAM y procesadores, permite ofrecer una serie de ventajas de capacidad, escalabilidad y disponibilidad en las aplicaciones alojadas en las instancias virtuales, en lugar de tener los servicios ubicados en diferentes servidores dedicados.

Con la implementación del modelo de Infraestructura como Servicio los recursos informáticos de hardware se brindan en forma de servicios. Con ello, la IaaS permite aumentar recursos de manera inmediata, en función de las necesidades de los usuarios, así como de las aplicaciones que se encuentren alojadas en el centro de datos; es más, con la virtualización se pueden ampliar o reducir los recursos informáticos en periodos de tiempo muy cortos, de unos cinco minutos.

Los tiempos de recuperación de los servidores, en caso de fallas, son prácticamente inmediatos en comparación con los tiempos de recuperación de los sistemas tradicionales, al beneficiarse de las bondades que ofrece modelo de nube de la IaaS.

Con las características de servicios que se describen en la Tabla dos, se concluye que la tecnología de Infraestructura como Servicio supera en efectividad a los servidores tradicionales, en cuanto y tanto al cumplimiento de capacidades de integración en servicio de infraestructura y de aplicaciones, porque se ajusta a soluciones estables, con la ventaja de que permite redundancia y replicación en centros de datos alternos, no solo de los servicios y las bases de datos, sino también del sistema operativo completo, además, el fácil aprovisionamiento de almacenamiento hace que los servicios de operación sean factibles.

Tabla 2. Comparativa de efectividad de servicios entre implementación con IaaS versus soluciones tradicionales.

Servicio	Descripción	Tradicional	IaaS
Infraestructura	Redes, almacenamiento redundante distribuido, sistemas operativos, recuperación de desastres, replicación en caliente, respaldo integral del sistema con los servicios, segmentación	15%	90%
Aplicaciones	Seguridad, compartir recursos, interacción, personalización, disponibilidad, escalabilidad, servicios y aplicación en línea, replicación en centros de datos alternos.	5%	90%
Operaciones	Autentificación, disponibilidad, supervisión, apoyo en la gestión, centro de operaciones de redes, respaldo.	5%	100%
Otros	Órdenes, aprovisionamiento, licencias, renovación, mejoras constantes.	1%	100%

Con la implementación de Infraestructura como Servicio en la ESPAM, se podrá en un futuro ofrecer recursos máquinas virtuales y almacenamiento como servicios para estudiantes y docentes investigadores, lo que ayudara a expandir más el uso de la tecnología IaaS utilizando la infraestructura existente dando servicio a nuevos servidores el clúster virtual.

Bibliografía

Alzoubaidi, A. R. (2016). Cloud Computing National e-health services: Data Center Solution Architecture. International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS), 16(9), 1.

Buyya, R.; Yeo, C. S.; Venugopal, S.; Broberg, J.; Brandic, I.: Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. Future Generation computer systems, Vol. 25, No. 6, pp. 599-616 (2009)

Chuquiguanca, L.; Malla, E.; Ajila, F.; Guamán, R.: Arquitectura Clúster de Alto Rendimiento Utilizando Herramientas de Software Libre. Latin American Journal of Computing Faculty of Systems Engineering National Polytechnic School, Vol. 2, No. 1, pp. 37-44 (2015).

Guirao Villalonga, A.: Infrastructure as a Service (IaaS): application case for TrustedX. http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/11289. (2011). Accedido el 30 de Agosto del 2013.

Nazareno, G.: Cloud Computing en la educacion TIC. http://www.gonzalonazareno.org/cloud/material/cloud_en_la_educacion.pdf. (2012). Accedido el 20 de Noviembre del 2013

Orsi, Sociedad Informática Castilla.: Cloud Computing la tecnología como servicio. http://www.orsi.jcyl.es/web/jcyl/ORSI/es/Plantilla100Detalle/1262861006271/_/1284152333822/Redaccion. (2010). Accedido el 27 de Agosto del 2013

Sheharyar, A.; Bouhali, O.: A Framework for Creating a Distributed Rendering Environment on the Compute Clusters. Cornell University Library. http://arxiv.org/abs/1401.0608. (2014). Accedido el 12 de Febrero del 2016

Sociedad española de informática de la salud (2011). Monografico de Cloud Computing. www.seis.es/documentos/noticias/adjunto/seis_monog2011_WEB.pdf. Accedido el 10 de Enero del 2014

vmware. (2014). vSphere ESXi Hypervisor. http://www.vmware.com/co/products/vsphere/features/esxi-hypervisor. Accedido el 08 de noviembre del 2014

Tarrá-Reyes, A. M.; Rodríguez-Ribón, J. C.; Monroy-Ríos, M. E.: Arquitectura para proveer servicios de comunicación soportada en una nube de computación universitaria en el Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena. Revista Ciencias e Ingeniería al Día, Vol. 8, No. 2, pp. 39-56 (2013)

Zambrano, W.; Chafla, G.; Moreira, C.; Cuzme, F.: Software como servicio de citas médicas en línea, un modelo aplicado a la salud. Espam Ciencia, Vol. 6, No. 1, pp. 31-38 (2015)

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.201 - 216
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Evaluating the Graph-based Visualization Technique: A Controlled Experiment

(Evaluación de la Técnica de Visualización Basada en Grafos: Un Experimento Controlado)

Germán Oswaldo Cárdenas[1], Jairo Aponte[1]

Abstract:
Many researchers have highlighted the scarcity of empirical studies that systematically examine the advantages and disadvantages of the use of visualization techniques for software understanding activities. Such studies are crucial for gathering and analyzing objective and quantifiable evidence about the usefulness of proposed visualization techniques and tools, and ultimately, for guiding the research in software visualization. This paper presents a controlled experiment aimed at assessing the impact of a graph-based visualization technique on comprehension tasks. Six common comprehension tasks were performed by 20 undergraduate software engineering students. The completion time and the accuracy of the participants' responses were measured. The results indicate that on one hand the use of the graph-based visualization increases the correctness (by 21.45% in average) but on the other hand it does not reduce the completion time in program comprehension tasks.

Keywords: software visualization; controlled experiment; software comprehension

Resumen:
Muchos investigadores han señalado la falta de estudios empíricos que sistemáticamente examinen las ventajas y desventajas del uso de técnicas de visualización para soportar la comprensión del software. Estos estudios son indispensables para recolectar y analizar evidencia objetiva y cuantificable acerca de la utilidad de las técnicas de visualización y herramientas propuestas, y más aún, para servir como guía de la investigación en visualización de software. En este estudio, 6 tareas típicas de comprensión de software fueron realizadas por 20 estudiantes de un curso de ingeniería de software. Se midió el tiempo de respuesta y se calificó la exactitud en las respuestas de los participantes. Los resultados indican que, por una parte, el uso de la técnica de visualización basada en grafos mejoró la exactitud en las respuestas de los estudiantes (21.45% en promedio); por otra parte, no se encontró evidencia significativa de reducción en el tiempo gastado por los estudiantes para resolver las tareas de comprensión de software.

Palabras clave: visualización de software; experimento controlado, comprensión de software.

1. Introduction

In order to analyze and understand large-scale software systems several techniques have been developed and one of the most interesting is software visualization. This approach takes advantage of the human's brain ability to recognize and understand graphic patterns and images and has been extensively used by many researchers to propose a wide variety of techniques and supporting tools. Unfortunately, not many of them have been empirically evaluated, which indicates

[1] Universidad Nacional de Colombia, Bogotá – Colombia ({gocardenasc, jhapontem}@unal.edu.co)

that the systematic, disciplined, and controlled method for evaluating visualization techniques provided by experimentation has hardly been used (Wettel et al., 2011; Shahin et al., 2014; Seriai et al., 2014). As a consequence, several studies have highlighted the need for an objective evaluation of the proposed visualization techniques that allows researchers and practitioners to identify the pros and cons of applying them for performing typical software engineering activities. Among the existing empirical evaluation of software visualization tools, most controlled experiments are dedicated to the validation of the tools developed by the authors of those studies.

This study presents a controlled experiment aimed at evaluating an independent graph-based visualization technique, not developed by the authors. Graph-based visualizations are the most popular techniques used to represent software architectures (Shahin et al., 2014) and explicitly depict software organization and its key aspects (Dąbrowski et al, 2011). Our purpose is to evaluate the efficiency and effectiveness of this visualization technique at supporting typical software comprehension tasks. Source-code-based exploration technique is our chosen baseline, since it is the common way to perform software understanding (Wettel et al., 2011; Wettel et al., 2010).

2. Related Work

Although there have been several works on evaluation of visualization techniques, we restrict ourselves to briefly report on controlled experiments aimed at assessing graph-based software visualization tools and approaches used to support program comprehension.

Knodel et al. (2008) evaluated the impact of changing the configuration of graphical elements in their tool, called SAVE, for software architecture visualization and evaluation. The experiment compares the influence of two configurations utilizing Tomcat web server as object system. 29 academic subjects performed 10 architecture analysis tasks. Their findings show an improvement of 63% in effectiveness by changing the configuration of graphical elements.

Cornelissen et al. (2013) carried out an experiment to assess EXTRAVIS, their tool for visualizing execution traces. The experiment compares EXTRAVIS + Eclipse IDE against Eclipse IDE. The results show a time decrease of 22%, and an increase of 43% in correctness. They used CHECKSTYLE as object system, and a group of 23 academic subjects and one participant from industry.

Haitzer and Zdun (2013) conducted a controlled experiment to determine the usefulness of component diagrams to support understanding architectural level. They used the Freecol computer game as object, and 60 students as subjects. The results indicate that architectural component diagrams are useful to understand architectural connections that are hard to see by exploring code.

Quante (2008) performed a controlled experiment to evaluate whether their approach DOPG (Dynamic Object Process Graphs) is useful to support program understanding. The controlled experiment was carried out with 25 participants, all of them students, and three object systems, namely Jetris, GanttProject, and ArgoUML. The usefulness of the approach depends on the system features as it was only beneficial for ArgoUML, the biggest analyzed system.

Finally, Fittkau et al. (2015) conducted two controlled experiments, the primary study and its replication, in order to compare their tools, EXTRAVIS and ExploreViz, in typical comprehension tasks. They performed their assessment by using Babsi and PMD as object systems. In the experiment 30 students participated, and 50 in its replication. The findings show that subjects spent similar time for the small-sized system (Babsi), and a time reduction of 28% for the large-sized system (PMD) in favor of ExploreViz. Also, results show a significant improvement for both small and large-sized systems by using ExploreViz; 39 and 61% respectively.

There are two major differences between the related work and our study. First of all, most of the studies evaluate their own tools or approaches, while our study is completely independent. The assessment presented by Haitzer and Zdun (2013) is the only exception, but they used predefined diagrams in their controlled experiment. In our approach we provided subjects with a tool, which allows them to interact directly with the object system. The second main difference is the system object's size. We decided to utilize a software system of 303828 LOC. The experiments cited in this section used software systems not representatives of actual industrial systems. Only in the Quante's experiment (2008) the largest system has 319917 LOC, which we consider a reasonable and representative size.

3. Methodology

3.1 ISPACE in a Nutshell

The main factor being analyzed is the usefulness of the graph-based visualization technique, which in this case is implemented in the ISPACE tool[2] against the typical code-based exploration by using Eclipse IDE[3]. The selection of the graph-based visualization tool was strongly influenced by the easiness of use and installation, the proven usefulness of the generated visualizations, and the ability to visualize packages which on one hand is the natural decomposition mechanism of a java system, and on the other, is essential for understanding non-trivial programs (Lungu et al., 2006). This Eclipse plug-in allows the users to explore the structure of a software system, i.e., its components and their dependencies using a nested-labeled graph. Nodes are called *container boxes* and can contain other nodes. Edges represent relationships between boxes, and the number of dependences is mapped onto the weight of the arrows (Aracic et al., 2006). *Figure 1*

[2] http://web.archive.org/web/20111201180259/http://ispace.stribor.de/index.php?
[3] https://eclipse.org/downloads/

shows a screenshot of the ISPACE user interface. It represents the packages hierarchy hippoecm.faceteddate and its classes, and its relationship with hippoecm.repository package. This hierarchical-recursive organization is the typical structure of object-oriented software (Caserta & Zendra, 2011).

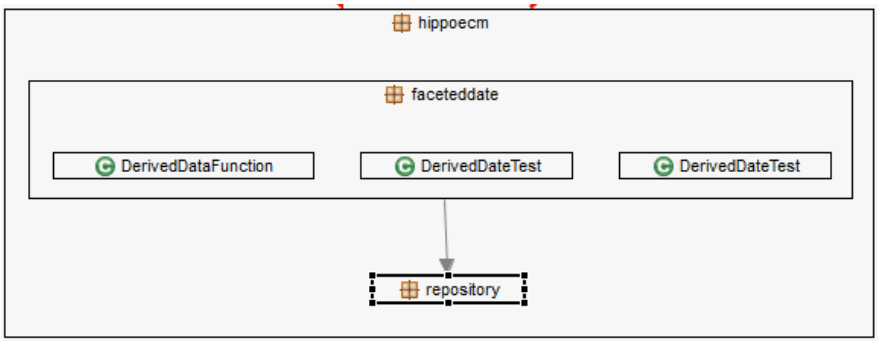


Figure 1. ISPACE view.

3.2 Experimental Design

Research Design is the process of selecting a method for a particular research problem, tapping into its strengths, while mitigating its weaknesses (Easterbrook et al., 2008). The purpose of our controlled experiment is to provide a quantitative evaluation of the effectiveness and efficiency of the graph-based visualization technique when compared to a common code-based exploration technique. Throughout this section the complete experiment's design is explained in detail.

3.2.1 Research Questions

The following research questions were formulated:

RQ1: Does the use of graph-based VT (Visualization Technique) increase the correctness, when performing software understanding tasks?

RQ2: Does the use of graph-based VT reduce the completion time, when performing software understanding tasks?

Thus, there are only two treatments in our experiment, one that provides subjects with a graph-based visualization tool for performing the tasks (that is, ISPACE), and another that provides subjects only with the Eclipse IDE. A between-subjects design was used, so that each participant was tested on only one treatment.

3.2.2 Hypotheses

Based on the formulated research questions, the null and alternative hypotheses are given in the Table *1*.

Table 1. Hypotheses.

Null Hypothesis	Alternative Hypothesis
H10: There are no significant differences in correctness between both techniques for software understanding tasks.	**H1:** There are significant differences in correctness between both techniques for software understanding tasks.
H20: There are no significant differences in completion time between both techniques for software understanding tasks.	**H2:** There are significant differences in completion time between both techniques for software understanding tasks.

3.2.3 Object System

A real system was chosen for our assessment. This selection was made based on two criteria: 1) it has to be as large as typical industrial software, so that it is possible to extend and generalize the results, and 2) its application domain has to be familiar to the subjects, in order to prevent unnecessary confusion among participants. The selected system was Hippo CMS[4], a friendly and popular Content Management System written in Java and used by a variety and well-known range of clients such as: Autodesk, ACM, and the University of Amsterdam among many others. It has 145 packages, 928 classes, and 303828 lines of code.

3.2.4 Tasks

For choosing experimental tasks, three strategies were adopted. The first one was to survey practitioners for identifying activities they consider important in the software understanding process in industry; the second one was to look for typical tasks in previous and related studies, and the last one was to make sure that each task requires a reasonable amount of time to be completed, yet the set of tasks does not require more than 120 minutes.

Six tasks were finally selected in order to cover the most important and common software understanding activities (Pacione et al., 2004). We made a final decision on the set of tasks, described below, after a pilot study with two subjects to determine the approximate amount of time needed to complete the tasks, to remove ambiguities, and to improve the wording of the instructions and questions of the experiment.

Task 1. From a structural viewpoint, what is the most important package or set of packages in the system? How does it interact with the others? How did you identify it? **Rationale:** Assessing high-level structure/architecture of the software system and how its components interact is a key comprehension activity to understand the domain of the system (Pacione et al., 2004).

Task 2. Describe the class structure of the package P. That is, relationships among entities. How did you identify that structure? **Rationale:** Investigating the internal structure of an artefact is a typical comprehension task (Pacione et al., 2004).

[4] https://www.onehippo.org/

Task 3. Which is the class in the package P with the strongest coupling to package Q? How did you identify that class? (Cornelissen et al, 2011). **Rationale:** Coupling and cohesion are two of the most important design concepts and help to determine how the system works and how easy it is to maintain and evolve.

Task 4. Which is the class in the package P with the highest fan-in (incoming calls)? Which is the class with the lowest fan-out (outgoing calls)? How did you identify them? (Fittkau et al., 2015). **Rationale:** Understanding dependencies between artefacts and assessing the quality of the system's design is one of the principal activities in software comprehension (Pacione et al., 2004).

Task 5. Look for the class C in the package P. Evaluate its change impact considering its caller classes. The assessment is done in terms of both intensity (number of potentially affected classes) and dispersion (how these classes are distributed in the packages structure). How did you do this task? **Rationale:** Impact analysis provides the means to estimate how a change to a restricted part would impact the rest of the system. Although extensively used in maintenance activities, impact analysis may also be performed by developers when estimating the effort needed to perform a change. It also gives an idea of the quality of the system. A part of the system which requires a large effort to change may be a good candidate for refactoring (Wettel et al., 2011).

Task 6. Describe the purpose of package P. How did you determine the purpose of that package? **Rationale:** Investigating the functionality of (a part of) the system and understanding its domain is one of the main and useful activities in software comprehension for practitioners and researchers (Pacione et al., 2004).

3.2.5 Subjects

Subjects in this controlled experiment were undergraduate students from a Software Engineering course. As we see in *Figure 2*, all subjects had knowledge of the fundamentals of OO programing and design, and Java programing experience, which was estimated as an adequate background for performing the experiment. Since motivation is an essential element of software visualization evaluations (Sensalire et al., 2009), to recruit participants we offered a reward and 21 students from the course decided to accept the invitation. However, it was necessary to discard the responses of one of the participants, since the participant did the tasks in just a few minutes, which indicated lack of serious effort.

To assign the two treatments, participants were divided into two groups, maintaining a balance between the groups with respect to course performance as much as possible. To do that, the students were grouped in three categories namely, A, B, and C, according to their grades and the quality of their contributions to the course software project. After that, the students of each category were evenly distributed among the two treatments using the blocking technique (*Table 2*).

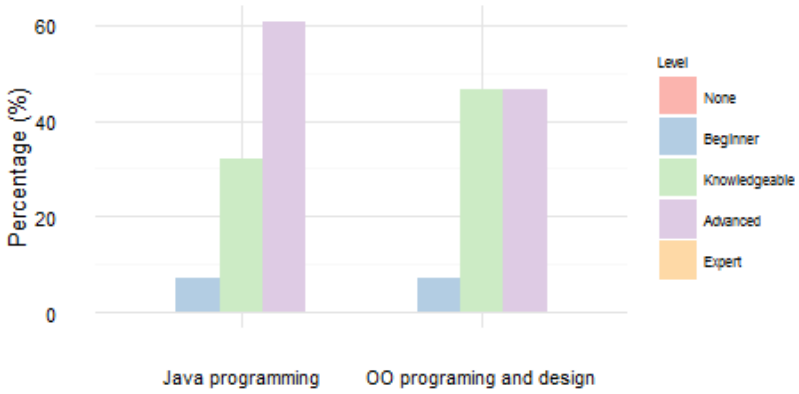


Figure 2. Subjects' Expertise.

3.2.6 Data collection

All subjects answered an online questionnaire designed using the Qualtrics[5] system. The tasks were presented in the order they appear in Section 3.2.4. Each task was timed and the subjects were asked to write the answer in the space provided in the online forms. They were not allowed to go back to questions already answered or skip a question without answered it.

Table 2. Subjects' Distribution.

Number of Subjects	**Treatments**		
Blocks	**Graph-based**	**Source-code-based**	**Total**
C	6	7	**13**
B	1	2	**3**
A	3	1	**5**
Total	**10**	**10**	**20**

3.2.7 Dependent and Independent variables

Since the current experiment has the purpose of measuring the effectiveness and the efficiency of graph-based VT at supporting software understanding tasks, we consider correctness and completion time as our dependent variables. The correctness of each answer was scored by one of the authors with a number between 0 and 10 (See grading scale in the experimental package). All answers were previously mixed, so the grader did not know which treatment was rating. The time spent by a subject on answering a task was recorded by Qualtrics, the online survey tool used. The type of technique was considered as the independent variable. This variable has two levels, i.e., graph-based visualization and source-code-based exploration technique.

[5] https://www.qualtrics.com/

3.2.8 Controlled variables

We identified the participants' course performance as an influential factor over the experiment's results. To mitigate this potential influence, we used the blocking technique based on the criteria and categories described in Section 3.2.5.

3.2.9 Study procedure and instrumentation

We ran a pilot study that allowed us to verify the feasibility of the tasks, calculate the approximate time required by each task, and improve the wording and clarity of the questions and instructions for the participants. It was performed by two students, each one of them performed tasks for one treatment. Before the study, one of the authors made a brief presentation of ISPACE to the entire course. At the same meeting, the presenter did a review of the main features provided by Eclipse for exploring the structure of a system. In addition, when starting the experiment, the ISPACE group was given a one-page description of the visualization tool and a brief tutorial of the most relevant Eclipse functionalities for performing the tasks of the study; and the other group was provided only with the Eclipse tutorial. The study was conducted in a laboratory where each participant used a laptop computer previously set up with the software required. Participants in the ISPACE group were allowed to use any Eclipse feature they thought are essential for doing the task at hand, in addition to the ISPACE plug-in. At the end of the study, they filled out a short post-questionnaire. The complete set of study materials is available for reviewing and replication purposes[6].

3.2.10 Threats to Validity

External validity refers to the degree to which the results of our study can be generalized to other populations and contexts. First of all, the subjects were undergraduate students with acceptable knowledge of Java and Eclipse, but with no knowledge of the software architecture subject. It is likely that using graduate students or industry developers, the results may have been somehow different. Secondly, the six tasks chosen refer to a single medium sized system. Thus, the representativeness of the tasks and subject system selected is another threat that reduces our ability to extrapolate our results to other Java systems and other types of comprehension tasks.

Internal validity refers to unrelated factors that may compete with the independent variable in explaining the study results. First of all, to reduce the threat that the subjects may not be competent enough to perform the tasks proposed, we chose them from a software engineering course, ensuring that participants had basic knowledge of the Java programming and the OO paradigm. In addition, all subjects attended a brief presentation about the main functionality of ISPACE and the Eclipse IDE, and also received short tutorial of both tools. Secondly, based on the

[6] https://drive.google.com/open?id=0B6lbY7sU2RMIMW1LclRhTGc5OTQ

performance of the students in the course, we grouped the subjects such that both groups would have participants with fairly similar programming skills and software engineering knowledge. In this way we mitigated the threat of an unbalanced distribution of the subjects' expertise across the two experimental groups. Third, since we are conducting an independent assessment, the choice of the tasks was not biased toward any technique, and participants in the ISPACE group were allowed to use any Eclipse feature they thought are essential for doing the task at hand, in addition to the ISPACE plug-in. Finally, the participants were recruited on a voluntary basis, all of them received a reward simply for participation, they were assured of the anonymity of their answers, they did not know neither the study goal, nor which group they were before performing the study.

4. Results and Discussion

We used the two-tailed Student's t-test for our analysis as it is the most suitable for our experimental design. This test requires that our data meet the normal distribution and depends on equal or unequal variances. To test the normal distribution, Shapiro-Wilk test was used and to test homogeneity of the variances, Levene's test was conducted. Both test succeeded assuming a significant level of 0.05 (α=0.05). The complete statistics related to the experiment's result are presented in *Table 3*.

Table 3. Descriptive Statistics of the Experimental Results.

Correctness										
Treatment	**Mean**	**Min**	**Max**	**Median**	**Stdev**	**Shapir-Wilk Test**	**Cohen's d**	**Levene's Test**	**t**	**p-value**
Code-based	5.78	4.17	7.08	6.21	0.98	0.1934	1.0034	0.4782	-2.2587	0.0366
Graph-based	7.01	4.87	9.58	7.08	1.43	0.8272				
Completion Time										
Treatment	**Mean**	**Min**	**Max**	**Median**	**Stdev**	**Shapir-Wilk Test**	**Cohen's d**	**Levene's Test**	**t**	**p-value**
Code-based	40.00	20.57	58.48	38.73	12.00	0.8241	-	0.7236	0.0602	0.9530
Graph-based	39.64	28.11	60.83	37.83	10.60	0.1847				

We performed the analysis for correctness and completion time using RStudio [7] Statistical Software. All scripts and results are available as part of the experimental package.

4.1 Overall Analysis on Correctness

Student's t-test revealed a p-value 0.0366. In consequence, we reject H10 in favor of the alternative hypothesis H1 indicating that the mean correctness in the graph-based treatment was significantly higher than the one for code-based exploration treatment. This means that the data

[7] https://www.rstudio.com/

show evidence that the graph-based visualization increases the correctness in program comprehension tasks (21.45%). To understand better de magnitude of the difference between the two treatments [42, 43], we decided to compute the effect size using Cohen's d measure. The found value was 1.0034, which means a large effect due to the support of the graph-based visualization technique. The effect of the technique on correctness is illustrated in *Figure 3*.

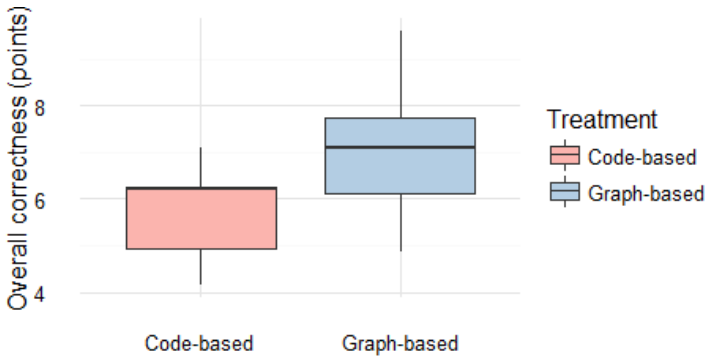


Figure 3. Boxplots for overall correctness.

4.2 Overall Analysis on Completion Time

For the completion time analysis, we decided to remove results from both tasks T1 and T4 due to their low correctness, especially in the code-based treatment, which makes impossible the comparison. Even more, we decided to perform an extra grading including only results from the remaining tasks (T2, T3, T5, and T6), and removed all subjects with a total score less than 7.5, in the same way as the evaluation performed by Fittkau et al. (Fittkau et al., 2015). It ended up eliminating 3 subjects per treatment.

Student's t-test revealed a p-value 0.9530. Thus, there is no evidence to rejected H20 in favor of the alternative hypothesis H2, indicating that the difference between the mean completion time in both graph-based and code-based treatments was not significant. This means that the data show no evidence that there are significant differences in completion time between both techniques for software understanding tasks. The effect of the technique on completion time is illustrated in *Figure 4*.

4.3 Tasks Analysis

In this section we provide a deeper analysis of the results for each task. Both tasks, T1 and T4, were excluded from completion time analysis, in the same way as results below 7.5 for remaining tasks (T2, T3, T5, and T6). All results were taken into account for the correctness analysis.

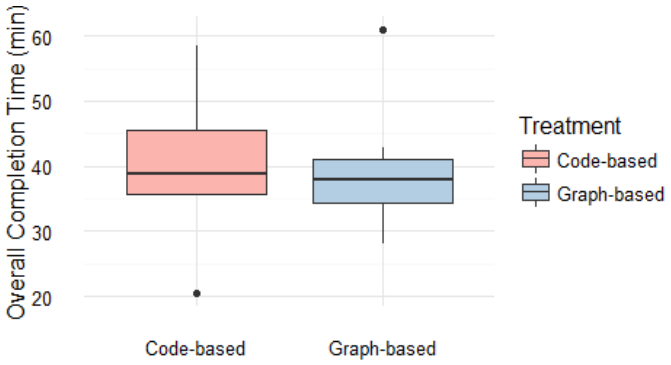


Figure 4. Boxplots for overall completion time.

Task 1. The graph-based group performed better than the code-based group in terms of correctness (6.15 vs. 2.50). Subjects in code-based exploration treatment had a very poor performance, while for the graph-based one it was acceptable. Subjects who had an acceptable performance used strategies such as look for hierarchical relations and amount of classes per package. That was the approach used by most of the participants in graph-based treatment, which suggests that the VT leads participants through a better strategy.

Task 2. The graph-based group performed better than code-based in terms of correctness (8.19 vs. 5.90). Descriptions of entities and relationships were more detailed in the graph-based treatment than in the code-based one, which suggests that VT gives an extra degree of accurateness. There is a small difference in terms of completion time in favor of the graph-based treatment (16.63 vs. 18.43).

Task 3. The code-based group performed better than graph-based group in terms of correctness (10.00 vs. 8.00). Code-based exploration seems to be the best strategy for this task; even participants in graph-based treatment used it to carry out this task. There is a slight difference in favor of graph-based technique in completion time (7.27 vs. 8.25).

Task 4. The graph-based group performed better than code-based group in terms of correctness (4.50 vs. 1.50). Exploring calls via metrics (number of dependencies) and caller classes was the strategy used by participants with perfect score in the graph-based treatment. In the code-based treatment no one has a perfect score, and seven out of the eleven subjects scored 0 in this task. This suggests that the use of graph-based conventions substantially improves correctness in this type of task.

Task 5. For this task the graph-based performed slightly better than code-based in terms of correctness (5.25 vs. 4.75). However, both groups had a low performance. Evidence suggests similar results and similar strategies (searching for relationships). On the other hand, the graph-based performed better than code-based in terms of completion time (9.25 vs. 10.34).

Task 6. No significant differences between both techniques in correctness were found (10.00 vs. 10.00). Evidence suggests that VT leads subjects to use mostly a name recognition strategy, while in code-based treatment most subjects inspected code to understand package's functionality, and just one subject used the name recognition strategy. The code-based group performed slightly better than graph-based in terms of completion time (4.91 vs. 5.66).

In summary, subjects in the graph-based group performed better in tasks T1, T2, T4, and T5 in terms of correctness, with the largest differences in tasks T1 and T4. For task T6, final results in correctness were exactly the same for both techniques. Task T3 was the only one in which the code-based group overcame the graph-based one. *Figure 5* shows graphical results of correctness. Subjects in graph-based treatment performed better in tasks T2, T3, and T5 in terms of completion time. The only one task in which code-based technique overcame graph-based technique was T6; however, the difference was not too large. *Figure 6* shows graphical results of completion time.

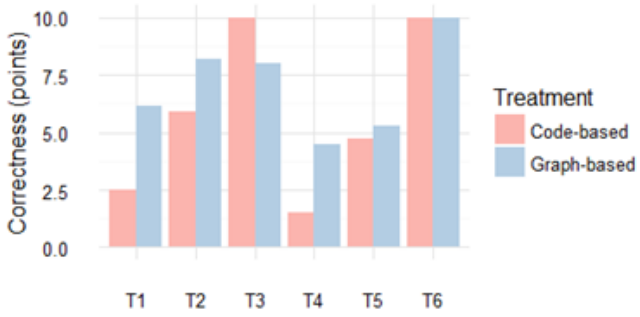


Figure 5. Correctness per task.

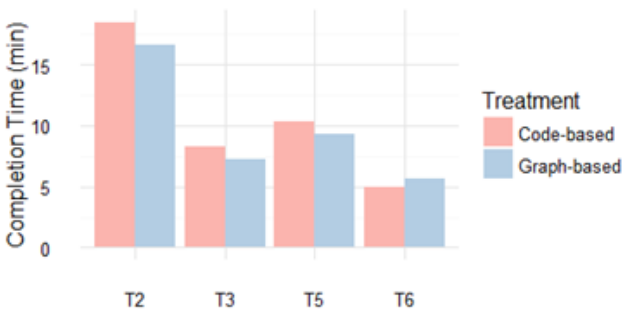


Figure 6. Completion time per task.

4.4 Discussion and comparison of unsuccessful tasks

Both techniques performed low in tasks T4 and T5. Task 4 was used in a study by Cornelissen et al. (2011) and task 5 in a study by Wettel et al. (2011). Results in the mentioned studies outperformed considerably ours for both tasks. The experiment done by Cornelissen et al. (2011) evaluates the EXTRAVIS tool, which visualizes dynamic and static analysis against Eclipse. EXTRAVIS provides a two linked views; the massive sequence view to support trace analysis, and the circular bundle view, which is representative of the graph-based technique (Shahin et al., 2014) to perform static analysis. The subjects using EXTRAVIS performed considerably well in this task, in terms of correctness and completion time. Task 5 was taken from a controlled experiment conducted by Wettel et al. (2011). They evaluate the CodeCity tool, which presents a metaphor-based technique (Shahin et al., 2014). The study was performed over two different software systems against a base-line (Eclipse + Excel), having good results too.

Hence, the low performance in our experiment could be caused by several reasons such as: subjects' background, unsuitability of the graph-based technique for carrying out this particular type

of tasks, misunderstanding of the tasks, etc. We asked participants about tasks understandability, and only two reported misunderstanding of task T4. In order to analyze the others mentioned potential reasons, further research is necessary.

4.5 Usefulness Perception

We asked subjects about how useful was the support provided by the visualization technique to solve each task. The graph-based visualization technique was rated as Extremely Useful and Moderately Useful for most participants in all tasks, especially in tasks T1 (100%), T2 (100%), and T6 (90%). For Task T3 (60%), T4 (70%), and T5 (80%) the visualization technique was less useful. Subjects perceived the visualization technique more useless for Task 3, where 30% of the subjects perceived it as moderately useless, and 10% as totally useless. This is consistent with their strategy to resolve this specific task, since 5 subjects used code exploration when solved it. The most useful support was perceived in Task 2, where 90% of the subjects rated the visualization technique as extremely useful, and the remaining 10% as moderately useful. The strategy here was to explore visual conventions. *Figure 7* shows the overall subjects' perceptions of the graph-based visualization group.

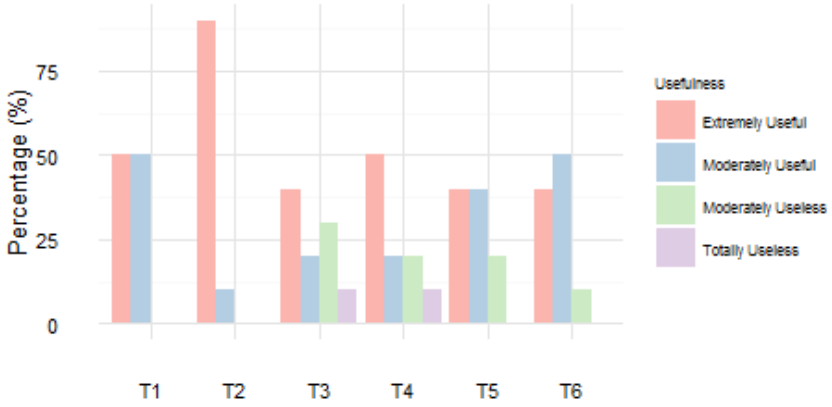


Figure 7. Usefulness perception of the Visualization Technique.

4.6 Post-Experiment Survey Analysis

After the experimental session we surveyed subjects about the tasks difficulty; 19 participants answered the questionnaire. They were asked to select the 3 most difficult tasks. The results show that task T1 was considered the most difficult task by participants, which corresponds with their low scores. Task T2 was considered the less difficult which is consistent with the results. Tasks T3, T4, T5 and T6 had an average and similar perception, but different results in correctness and completion time. Tasks T3 and T6 had excellent results, whereas participants' performance was low for tasks T4 and T5. It could be due to participants' confidence in their answers. Unfortunately, we have no evidence to support our hypothesis as we did not ask participants about their level of

confidence. *Figure 8* compares the difficulty perceptions against both completion time and correctness results.

5. Conclusions and Future Work

We conducted a controlled experiment in order to assess the impact of using the graph-based visualization technique, when performing typical software understanding tasks. Six of these typical tasks were performed by 20 undergraduate students enrolled in a software engineering course. Half of them used the ISPACE Eclipse plug-in, a graph-based tool for visualizing and analyzing Java dependency graphs; and the other half used only the code exploration features offered by the Eclipse IDE. The subject system was Hippo CMS, a friendly and popular Content Management System written in Java. To assess the influence of the visualization technique, we measured the completion time and the accuracy of each one of the participants' responses.

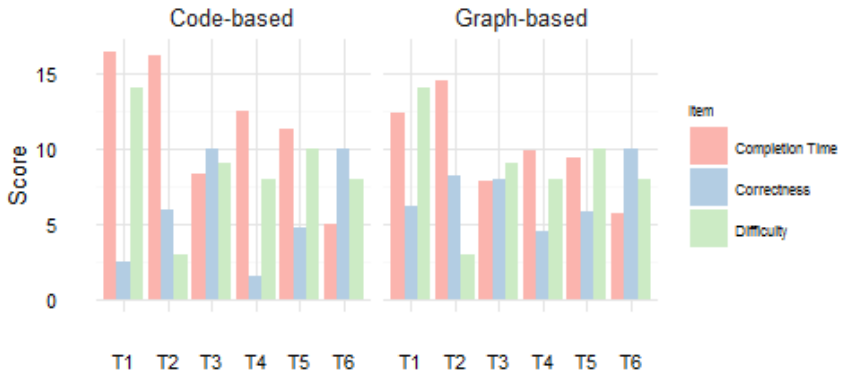


Figure 8. Task difficulty perception.

The study results indicate that the use of the graph-based visualization increases the overall correctness (21.45%) and show no statistical evidence of reduction for overall completion time in program comprehension tasks. Therefore, results show benefits of the graph-based visualization technique on improving the effectiveness to carry out typical software comprehension tasks, and suggest no effect on improving the efficiency.

The post-experiment survey shows that identifying the most important package(s) in the system was seen as the most difficult task by the 74% of the surveyed subjects. This fact is consistent with the low scores, especially for the code-based treatment. This post-experiment result plus the results on usefulness perception, where all participants rated the visualization as useful, shows the poorness usability of the code-based exploration technique for supporting high-level understanding. 53% of the subjects found describing the class structure of a package as the easiest kind of task. The excellent results of the graph-based group in that task (T2), and the favorable perception point out the usefulness of the visualization for understanding internal structure of artifacts.

We plan on replicating this study with industrial subjects and organizing subsequent similar studies to assess the influence of other visualization techniques on typical software comprehension tasks. Another direction is to characterize the types of tasks in which each of the four visualization techniques (Shahin et al., 2014) is more appropriate and effective, and similarly, identify those in which the visualization support does not improve neither the efficiency nor the effectiveness.

Since replications play important roles in the construction of knowledge (de Magalhães et al., 2015), and most of the software engineering experiments have not been replicated (Da Silva et al., 2014), we provide a complete experimental package including raw data, R scripts, and other detailed material in order to encourage other researchers to replicate our experiment or take our findings as starting point to carry out other valuable empirical assessments.

Bibliography

Aracic, I., & Mezini, M. (2006). Flexible abstraction techniques for graph-based visualizations. In Eclipse Technology eXchange workshop (eTX) at ECOOP.

Caserta, P., & Zendra, O. (2011). Visualization of the static aspects of software: A survey. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 17(7), 913-933.

Cornelissen, B., Zaidman, A., & Van Deursen, A. (2011). A controlled experiment for program comprehension through trace visualization.

Da Silva, F. Q., Suassuna, M., França, A. C. C., Grubb, A. M., Gouveia, T. B., Monteiro, C. V., & dos Santos, I. E. (2014). Replication of empirical studies in software engineering research: a systematic mapping study. Empirical Software Engineering, 19(3), 501-557.

Dąbrowski, R., Stencel, K., & Timoszuk, G. (2011). Software is a directed multigraph. In Software Architecture (pp. 360-369). Springer Berlin Heidelberg.

de Magalhães, C. V., da Silva, F. Q., Santos, R. E., & Suassuna, M. (2015). Investigations about replication of empirical studies in software engineering: A systematic mapping study. Information and Software Technology, 64, 76-101.

Easterbrook, S., Singer, J., Storey, M. A., & Damian, D. (2008). Selecting empirical methods for software engineering research. In Guide to advanced empirical software engineering (pp. 285-311). Springer London.

Fittkau, F., Finke, S., Hasselbring, W., & Waller, J. (2015, May). Comparing trace visualizations for program comprehension through controlled experiments. In Proceedings of the 2015 IEEE 23rd International Conference on Program Comprehension (pp. 266-276). IEEE Press.

Haitzer, T., & Zdun, U. (2013, July). Controlled experiment on the supportive effect of architectural component diagrams for design understanding of novice architects. In European Conference on Software Architecture (pp. 54-71). Springer Berlin Heidelberg.

Knodel, J., Muthig, D., & Naab, M. (2008). An experiment on the role of graphical elements in architecture visualization. Empirical Software Engineering, 13(6), 693-726.

Lungu, M., Lanza, M., & Gîrba, T. (2006, March). Package patterns for visual architecture recovery. In Conference on Software Maintenance and Reengineering (CSMR'06) (pp. 10-pp). IEEE.

Pacione, M. J., Roper, M., & Wood, M. (2004, November). A novel software visualisation model to support software comprehension. In Reverse Engineering, 2004. Proceedings. 11th Working Conference on (pp. 70-79). IEEE.

Quante, J. (2008, June). Do Dynamic Object Process Graphs Support Program Understanding? -A Controlled Experiment. In Program Comprehension, 2008. ICPC 2008. The 16th IEEE International Conference on (pp. 73-82). IEEE.

Sensalire, M., Ogao, P., & Telea, A. (2009, September). Evaluation of software visualization tools: Lessons learned. In Visualizing Software for Understanding and Analysis, 2009. VISSOFT 2009. 5th IEEE International Workshop on (pp. 19-26). IEEE.

Seriai, A., Benomar, O., Cerat, B., & Sahraoui, H. (2014, September). Validation of Software Visualization Tools: A Systematic Mapping Study. In Software Visualization (VISSOFT), 2014 Second IEEE Working Conference on (pp. 60-69). IEEE.

Shahin, M., Liang, P., & Babar, M. A. (2014). A systematic review of software architecture visualization techniques. Journal of Systems and Software, 94, 161-185.

Wettel, R., Lanza, M., & Robbes, R. (2010). Empirical validation of CodeCity: A controlled experiment. Tech Report 2010/05, University of Lugano.

Wettel, R., Lanza, M., & Robbes, R. (2011, May). Software systems as cities: a controlled experiment. In Proceedings of the 33rd International Conference on Software Engineering (pp. 551-560). ACM.J.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.217 - 231
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363

Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Herramienta para evaluar cuantitativamente el proceso de formación informal que tiene lugar a través de una aplicación Facebook.

(Tool for the quantitative evaluation of a Facebook app-based informal training process)

Adolfo Calle-Gómez[1], Félix Fernández-Peña[1], Pilar Urrutia-Urrutia[1]

Resumen:
El estudio del impacto de Facebook en el ámbito educativo ha estado basado, mayoritariamente, en el análisis cualitativo de los resultados de aprendizaje y de motivación de los estudiantes. El presente trabajo toma como punto de partida el uso de la aplicación Facebook *Sigma* por parte de estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato, la que les permite compartir recursos educativos, en lo que constituye un proceso de aprendizaje informal que está teniendo lugar. Nos hemos propuesto construir *Gamma*, una herramienta para generar estadísticas y gráficos que ilustren el impacto de la red social en este proceso de aprendizaje. En el presente trabajo se presentan los resultados del estudio de cómo aquellos que aprenden de forma informal, valoran el uso de *Gamma*. Se comprobó que la aplicación 1) sirve de retroalimentación a los usuarios de la comunidad educativa con relación al valor de los recursos educativos y de las acciones sociales que tienen lugar y que 2) permite evaluar cuantitativamente el impacto del uso de Facebook en el proceso de formación informal. Como valor agregado, *Gamma* garantiza la comunicación entre usuarios adeptos y detractores del uso de Facebook en el ámbito educativo.

Palabras clave: Proceso de aprendizaje informal; Facebook; evaluación cuantitativa.

Abstract:
The study of the impact of Facebook in academy has been mainly based on the qualitative evaluation of the academic performance and motivation of students. This work takes as starting point the use of the Facebook app *Sigma* in the Universidad Técnica de Ambato. Students of this university share educative resources through *Sigma.* This constitutes an informal learning process. We have proposed to construct *Gamma*, a tool for the generation of statistics and charts that illustrates the impact of the social network in the resulting learning process. This paper presents the results of the study of how *Gamma* is valued by those who like to do informal learning. It was checked that 1) *Gamma* gives feedback about the value of educative resources and social actions and that 2) it allows the quantitative measurement of the impact of using Facebook in the informal learning process. As an added value, Gamma supports the communication between supporters and detractors of the use of Facebook in the academia.

Keywords: Informal learning process; Facebook; quantitative measurement.

[1] Universidad Técnica de Ambato, Ambato – Ecuador ({ax.calle, fo.fernandez, elsapurrutia}@uta.edu.ec)

1. Introducción

Según la teoría de Astin, la cantidad de aprendizaje del estudiante y el desarrollo asociado con un programa educativo está directamente relacionado con la calidad y cantidad del vínculo del estudiante con dicho programa. Astin encontró que la cantidad de tiempo que los estudiantes dedican al diálogo con el docente fuera de clase está correlacionado positivamente con su satisfacción con relación a la calidad de la instrucción, e incluso, con su rendimiento académico (Astin, 1993). En este sentido, los entornos de comunicación virtual constituyen, hoy en día, una herramienta a considerar en cuanto a aprendizaje informal y relaciones sociales se trata (Junco, 2012)(Gordon, 2014)(Cunha et al., 2016).

Múltiples estudios se han enfocado en las posibilidades del uso de Facebook como herramienta de aprendizaje informal a través de los “Grupos Facebook” (Tsovaltzi et al., 2016) (Gómez et al., 2012) (Puhl et al., 2015) (Chun & Sheng, 2015) (Cunha et al, 2016). Sin embargo, múltiples autores aluden las dificultades de utilizar una herramienta que no fue concebida con fines educativos en el entorno académico (Kirschner & Karpinski, 2010) (Junco, 2012) (Yunus & Salehi, 2012) (Kirschner, 2015). También se ha señalado que los docentes no están convencidos de utilizar Facebook en el proceso docente (Junco, 2012) (Gómez et al., 2012), lo que hace ver a los estudiantes como nativos y a los docentes como inmigrantes digitales (Gómez et al., 2012).

En un trabajo previo, a partir de las ventajas del uso de los grupos Facebook señaladas por algunos autores (Tsovaltzi et al., 2016) (Gómez et al., 2012) (Oklar, 2012) (Junco, 2012) (Yunus & Salehi, 2012) (Pérez & de la Cruz, 2014) (Gordon, 2014) (Puhl et al., 2015) (Michikyan et al., 2015) (Cunha et al, 2016) y las desventajas señaladas por estos mismos autores y por otros (Kirschner & Karpinski, 2010) (Junco, 2011) (Junco, 2012) (Yunus & Salehi, 2012) (Gómez et al., 2012) (Abdulahi et al., 2014) (Kirschner, 2015), construimos un repositorio digital académico como aplicación Facebook que se utiliza actualmente para compartir recursos educativos entre estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato.

El objetivo de esta aplicación, llamada *Sigma* (Fernández & Urrutia, 2016), fue explotar las funcionalidades que se han valorado positivamente y reforzar las limitaciones que han sido detectadas en el uso de los grupos Facebook en el ámbito académico. El resultado fue una aplicación que personaliza el funcionamiento del mecanismo de comunicación (y colaboración) que ofrece la red social en función de la gestión académica alrededor del aprendizaje informal (Fernández & Urrutia, 2016). Para detalles de su funcionamiento se sugiere consultar https://www.youtube.com/watch?v=-adJ8Q8L17M. A partir de la evaluación de resultados del desarrollo de *Sigma*, nos propusimos construir la aplicación *Gamma*, dedicada al análisis cuantitativo de la interacción en la red social Facebook utilizando la información acumulada por *Sigma*. Con ello, se pretende apoyar la toma de decisiones en el proceso de aprendizaje informal que tiene lugar a través de *Sigma*.

El objetivo del presente trabajo es evaluar en qué medida la aplicación *Gamma*, 1) sirve de retroalimentación a los usuarios con relación al valor de los recursos educativos y de las acciones sociales de los miembros de la comunidad que utiliza *Sigma* en el proceso de aprendizaje informal y 2) en qué medida permite evaluar cuantitativamente el impacto del uso de la red social en el proceso de formación académica.

Algunos autores han señalado la posible influencia negativa de las redes sociales sobre el tiempo que el estudiante dedica a la lectura (Gómez et al., 2012) (Junco, 2012) y al estudio, en general (Kirschner & Karpinski, 2010) (Kirschner, 2015), llegando a considerarse hasta como una posible adicción (Abdulahi et al., 2014). Sin dejar de reconocer las dificultades que enfrenta, estudios recientes defienden el potencial de Facebook para desarrollar la identidad estudiantil, fidelidad y confianza en la institución universitaria por parte de los educandos y enfatizan la importancia de hacer uso de los componentes de la herramienta que influyen positivamente en el rendimiento estudiantil (Junco, 2015) (Nevzat et al., 2016) (Brech et al., 2016).

La mayoría de los estudios consultados relacionados con el uso de Facebook en la academia se refieren a análisis cualitativos cuyo resultado se avala por el procesamiento estadístico de las encuestas realizadas (Kirschner & Karpinski, 2010) (Tsovaltzi et al., 2016) (Junco, 2011) (Junco, 2012) (Yunus & Salehi, 2012) (Gómez et al., 2012) (Oklar, 2012) (Abdulahi et al., 2014) (Puhl et al., 2015) (Junco, 2015) (Michikyan et al., 2015). Solo Chun, Kitto y Tsovaltzi explotan, de alguna manera, la capacidad de la plataforma Facebook para recuperar información de la actividad de sus usuarios y llevar a cabo un análisis cuantitativo del comportamiento de los mismos (Chun & Sheng, 2015) (Kitto et al., 2015) (Tsovaltzi et al., 2016).

En (Chun & Sheng, 2015), se trabaja con un grupo de 31 estudiantes de noveno grado, se crea una especie de club extra clase en el que los estudiantes participaron por un período de 30 días y se utilizan las funcionalidades de un “Grupo Facebook” como medio de aprendizaje colaborativo. En esta investigación se excluyó a los estudiantes que no poseían cuenta personal de Facebook, quedando un número de 28 estudiantes, 12 hombres y 16 mujeres. La planificación del contenido académico a compartirse dentro del grupo fue propuesta por el profesor, quien publicó un único artículo todos los días a las 17:00 pm.

Después de trascurrido el mes del experimento, realizaron un análisis cuantitativo de los datos, utilizando las herramientas *NCapture* y *NVivo*. Con la primera herramienta se descargó el número de acciones sociales que tuvieron lugar en el grupo Facebook, utilizando una cuenta de usuario debidamente registrado, y con la segunda herramienta se realizó el procesamiento estadístico.

Los resultados indicaron que las publicaciones realizadas por el docente generaron mayor interés que las publicaciones realizadas por otros estudiantes. También determinaron que el mayor nivel

de interacción se dio los días jueves y viernes, lo que supuestamente se debe al estilo de vida y hábitos académicos de los estudiantes (Chun & Sheng, 2015).

Por su parte, Kitto construyó una aplicación web denominada *Connected Learning Analytics Toolkit* (CLA), creada bajo licencia Open Source GPL3, que captura datos de la interacción de estudiantes y profesores con contenido académico en distintas redes sociales y genera estadísticas. Las redes sociales con las que trabaja son Twitter, Facebook, Forum, YouTube, Diigo, Blog, unificando en una sola aplicación la variedad de acciones de las distintas redes sociales. CLA utiliza el estándar para tecnologías de aprendizaje denominado *Experience* API ó xAPI, el cual permite capturar y almacenar de una manera estructurada las actividades de aprendizaje en línea realizadas por una persona (Kitto *et al*., 2015).

Además, Tsovaltzi realiza una investigación enfocada a determinar si los servicios de redes sociales (*del inglés Social Network Service SNS*) favorecen la construcción del conocimiento académico de los estudiantes a través de la discusión sobre temas académicos en las redes sociales, para ello realizó un experimento con 40 estudiantes de una universidad alemana, los cuales interactuaron en Facebook (a través de cuentas creadas para el experimento sin la identidad del estudiante) en la discusión de un tema específico por 55 minutos. Se aplicó un cuestionario de veinticuatro preguntas de opción múltiple y dos preguntas abiertas al principio y al final del experimento y se determinó que la discusión argumentada del tema en la red social favoreció a la ganancia de conocimiento de los estudiantes. Para la elaboración del cuestionario se utilizó la escala de Likert del 1 al 5 para la valoración de las respuestas. (Tsovaltzi et al., 2016).

Desde la perspectiva empresarial es de significancia la existencia de herramientas de análisis estadístico que permitan conocer el tráfico de usuarios en los sitios web. La herramienta más utilizada en la actualidad es *Google Analytics*, la que permite además integrar acciones sociales en las páginas web y medir el éxito de la publicidad que tiene la página a través de las redes sociales. De acuerdo a reportes, el 52.9% del total de sitios web a nivel mundial ocupan esta herramienta. (https://w3techs.com/technologies/overview/traffic_analysis/all). Las características primordiales de esta herramienta son la riqueza en la presentación de las gráficas y el gran nivel de personalización de las estadísticas de acuerdo a las necesidades del usuario o del sitio web.

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe las funcionalidades y la implementación de la herramienta para luego someter la misma a un estudio experimental con un grupo de usuarios. En la sección 3 se presentan y analizan los resultados del estudio experimental para finalmente arribar a conclusiones en la sección 4.

2. Materiales y Métodos

Para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados se utilizó el método de investigación experimental en pos de responder las siguientes preguntas de investigación.

P1. ¿*Gamma* retroalimenta a los usuarios con relación al valor de los recursos educativos y de las acciones sociales de los miembros de la comunidad que utiliza *Sigma* en el proceso de aprendizaje informal?, y

P2. ¿*Gamma* permite evaluar cuantitativamente el impacto del uso de la red social en el proceso de formación académica?

En esta sección, en primera instancia se describe la construcción de *Gamma* para posteriormente describir el diseño del experimento llevado a cabo en la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato para responder las preguntas de investigación en cuestión.

2.1. Propuesta de Solución

Gamma se desarrolló con herramientas de software libre, como aplicación internet enriquecida (RIA, *del inglés Rich Internet Application*), con actualización asincrónica de las estadísticas y los gráficos, utilizando el lenguaje de programación JavaScript del lado del cliente. Del lado del servidor se utilizó el marco de trabajo Yii 1.1.17, que posee integrado un patrón de diseño MVC (Modelo Vista Controlador) y el lenguaje de programación PHP.

La información generada por *Sigma* es guardada en una base de datos que se implementó mediante MySql. Se manejan 11 tablas en total, 4 para la administración de usuarios y roles, 4 para el manejo de categorías y recursos educativos, y 3 para el registro de las acciones sociales (*shares, visits, likes*). La aplicación *Gamma* procesa los datos registrados y los transforma en estadísticas y gráficos de apoyo a la toma de decisiones en el ámbito académico. *Gamma* permite realizar tres tareas principales:

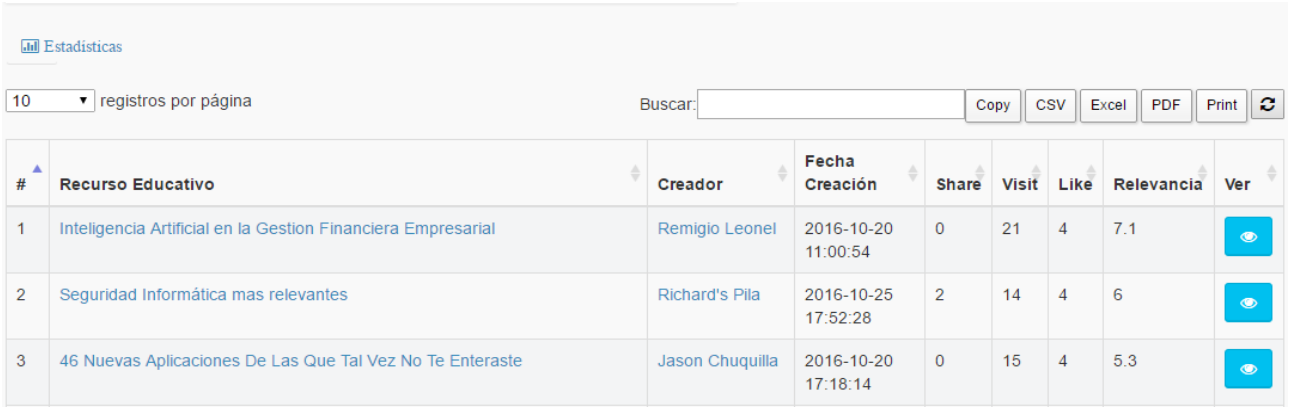
Gestión de recursos educativos

Los usuarios pueden actualizar los datos (y el estado) de los recursos educativos que publican utilizando el módulo *Gamma*. Estas actualizaciones quedan automáticamente accesibles en Facebook a través de *Sigma*. Si sobre determinado recurso educativo no se realizan acciones sociales en un periodo de tiempo determinado, quien lo publica puede decidir excluirlo del repositorio usando *Gamma*. Esta herramienta también se encarga de notificar automáticamente al usuario que comparte determinado recurso educativo cuando este “deja de utilizarse”. Para implementar este sistema de notificaciones se añadió el complemento PHPMailer al marco de trabajo de Yii.

En este sentido la herramienta constituye un espacio alternativo para compartir y actualizar la información de los recursos educativos por parte de los usuarios desde fuera de Facebook, a diferencia de trabajos relacionados (Chun & Sheng, 2015) que restringen al usuario a publicar y visualizar los recursos educativos estrictamente dentro de la red social en el grupo Facebook.

Generación de estadísticas

A través de *Gamma*, los miembros de la comunidad académica tienen disponibles estadísticas en tiempo real del "valor social" de los recursos educativos compartidos (medido en función de la cantidad de acciones sociales ejercidas sobre ellos por la comunidad). No es necesario realizar primero la descarga de los datos con una herramienta y luego el procesamiento con una segunda herramienta como fue propuesto por Chun et al. (Chun & Sheng, 2015), puesto que *Gamma* fusiona las dos funcionalidades (recuperación de datos y generación de estadísticas). Los reportes son generados en tiempo real, y en función de las preferencias y/o necesidades del usuario. En la *Figura 1* se muestra un ejemplo del tipo de estadísticas generadas por la aplicación *Gamma*.


Estadisticas

10 registros por página

Buscar: Copy CSV Excel PDF Print

#	Recurso Educativo	Creador	Fecha Creación	Share	Visit	Like	Relevancia	Ver
1	Inteligencia Artificial en la Gestion Financiera Empresarial	Remigio Leonel	2016-10-20 11:00:54	0	21	4	7.1	
2	Seguridad Informática mas relevantes	Richard's Pila	2016-10-25 17:52:28	2	14	4	6	
3	46 Nuevas Aplicaciones De Las Que Tal Vez No Te Enteraste	Jason Chuquilla	2016-10-20 17:18:14	0	15	4	5.3	

Figura 1. Estadística del número de acciones sociales y la relevancia de recursos educativos.

Para incrementar el nivel de interactividad y usabilidad de la aplicación, en comparación con el de la propuesta de Kitto et al. (Kitto *et al*., 2015), se llevó a cabo un estudio de bibliotecas JavaScript para la generación de gráficos estadísticos. La valoración de diferentes criterios cualitativos se cuantificó en una escala de uno a tres, tomando en cuenta el criterio de expertos. El resultado obtenido se muestra a continuación (*Tabla 1*). Se seleccionó a Morris JS (http://morrisjs.github.io/morris.js/) como la opción que mejor se adapta a los requerimientos planteados. Morris JS es de fácil uso, la documentación disponible es amplia y la curva de aprendizaje para utilizarla es reducida.

Tabla 1. Comparativa de Bibliotecas JS.

Aspecto	Biblioteca			
	Chart	Chartist	Morris	NVD3
Datos dinámicos	1	1	3	3
Calidad de gráficas	2	2	3	3
Documentación	2	2	2	2
Compatibilidad	3	3	3	3
Aprendizaje	3	3	3	2
TOTAL	11	11	14	13

Para crear los gráficos estadísticos se diseñaron consultas a la base de datos mediante lenguaje SQL; el controlador de la aplicación recupera los datos y los estructura en objetos JSON que envía a la vista cliente de la aplicación. Se utiliza MorrisJS para recibir los objetos JSON,

configurar los parámetros y mostrar las gráficas al usuario. Morris JS permite crear gráficos de cuatro tipos: barras, líneas, áreas y pasteles. En la *Figura 2*, se muestra la implementación de la gráfica del número de acciones sociales realizadas sobre un recurso educativo utilizando el objeto *JSONoasharevisitlike*:

CONSULTA SQL
(Base de Datos)

```
"SELECT 'compartidos' as label, COUNT(share.id) as value
 FROM article, share
 Where article.id =share.article and article.id=".$id."
 UNION ALL
 SELECT 'visitas' as label, COUNT(visit.id) as value
 FROM article, visit
 Where article.id =visit.article and article.id=".$id."
 UNION ALL
 SELECT 'gustados' as label, COUNT(like.id) as value
 FROM article,`like`
 Where article.id =`like`.article and article.id=".$id."";
```

OBJETO JSON
(Controlador)

```
[{"label":"compartidos","value":"2"}
{"label":"visitas","value":"14"},
{"label":"gustados","value":"4"}]
```

GRÁFICA
(Navegador web)

Figura 2. Implementación de gráficas estadísticas con MorrisJS.

En el diseño de las gráficas estadísticas de *Gamma* se tomó en cuenta la riqueza y la personalización de las gráficas que presenta *Google Analytics*; para ello se utilizó la capacidad de actualización asincrónica del contenido con JavaScript (tecnología Ajax). Es importante señalar que el manejo de objetos JSON para la recuperación de la información de la base de datos es similar al empleado en la herramienta *Connected Learning Analytics Toolkit* para recuperar actividades de aprendizaje del Almacén de Registros de Aprendizaje (Kitto *et al*., 2015).

Desde el punto de vista de la calidad de las medidas definidas, para determinar la relevancia de los recursos educativos y de los autores, se establecieron métricas que están en relación al número de acciones sociales realizadas sobre los mismos. La relevancia de un recurso educativo ri es determinada utilizando la fórmula:

$$R(r_i) = 0,5 * S_i + 0,3 * V_i + 0,2 * L_i$$

siendo *Si, Vi y Li* la cantidad de *Shares*, *Visits* y *Likes* que recibe el recurso educativo en cuestión. Esta fórmula fue seleccionada teniendo en cuenta la opinión de expertos en el área y de usuarios potenciales que fueron consultados y también es utilizada para ordenar los recursos educativos cuando se muestran en la aplicación *Sigma* (Fernández & Urrutia, 2016).

Por su parte, la actividad social de un usuario en *Sigma* se calcula sobre la base de la relevancia de los recursos educativos que publica utilizando la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^{n} R(r_i)$$

donde *n* es la cantidad de recursos educativos del usuario en cuestión.

Haciendo un análisis de la medición de estas métricas para las categorías de recursos educativos que se manejan, se determinan cuáles son relevantes para la comunidad educativa así como las que son de poco interés dentro de la institución (*Figura 3*). La cantidad de recursos educativos creados por categoría también refleja áreas de mayor interés en los usuarios del sistema. El procesamiento de los datos permite determinar cuáles son los miembros de la comunidad académica con mayor actividad lo que, según Cuhna, genera mayor influencia en el aprendizaje informal que tiene lugar (Cunha et al., 2016).

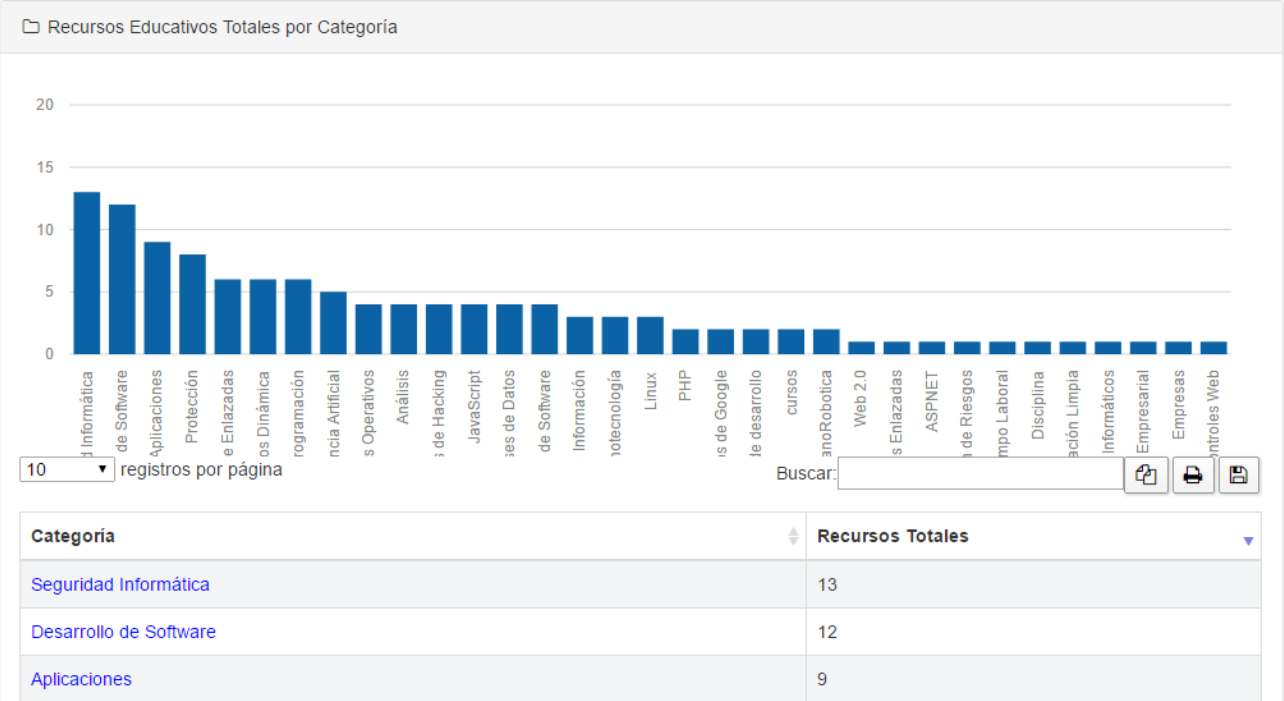


Figura 3. Gráficos estadísticos generados por *Gamma*.

El mismo análisis se lleva a cabo para determinar los miembros de la comunidad menos activos y generar alertas a los docentes/facilitadores que gestionan el proceso de aprendizaje informal, teniendo en cuenta que se puede tratar de estudiantes menos participativos, que requieran una atención diferenciada como parte del proceso de aprendizaje colaborativo. Si fuera el caso, el docente cuenta con una herramienta que facilita detectar a dichos estudiantes y tomar las medidas correctivas en el proceso de aprendizaje.

Gamma permite la combinación de estadísticas entre autores, recursos educativos, categorías educativas y acciones sociales. Se encarga de generar estadísticas específicas combinadas a voluntad del usuario; para ello se tomó como referencia el tipo y la forma de presentación de las estadísticas generadas por *Google Analytics*. Por ejemplo: evolución en el tiempo de recursos educativos creados por un autor vs el total de recursos educativos. Adicionalmente, el usuario de *Gamma* puede seleccionar el tipo de gráfica en la que desee representar las estadísticas (barras, líneas o áreas), establecer un rango de fechas de las estadísticas (año, semestre, mes) y descargar las mismas en diferentes formatos (pdf y Excel).

Personalización de servicios

La autenticación de los miembros de la comunidad académica está implementada en *Gamma* de dos formas: autenticación Facebook y autenticación propia del sistema. Para quienes lo prefieren, la aplicación se comunica con la plataforma Facebook y valida las credenciales del miembro de la comunidad académica como usuario Facebook registrado en la aplicación. Para la autenticación a través de Facebook en *Gamma*, se utilizó el SDK de Facebook en JavaScript versión 2.7, con la que se obtienen los datos de la cuenta de usuario de la red social y se les valida oportunamente.

Teniendo en cuenta las dificultades enfrentadas cuando miembros de una comunidad académica son detractores del uso de Facebook, que fueron documentadas en investigaciones previas (Pérez & de la Cruz, 2014), la aplicación permite el registro en *Gamma* con credenciales que se almacenan en la base de datos de la aplicación. De esta forma, estudiantes y docentes sin una cuenta de Facebook, o que decidan retroalimentarse con relación al uso que está teniendo *Sigma,* pero que no desean actuar "socialmente" a través de Facebook, sí pueden utilizar *Gamma*. El respeto a la autodeterminación reclamado en trabajos previos (Pérez & de la Cruz, 2014) demanda esta funcionalidad. Para más detalles del funcionamiento de la herramienta *Gamma* se sugiere consultar *https://www.youtube.com/watch?v=yQmaln8Ywt0&t=2s*.

2.2. Diseño del experimento

Se convocó a estudiantes y docentes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato para la evaluación del impacto de *Gamma* en el proceso de aprendizaje informal. Los datos del uso experimental de *Sigma* durante seis meses se pusieron a disposición de un conjunto de 25 usuarios potenciales (tamaño representativo de un grupo de aprendizaje en la universidad) en lo que constituyó un experimento controlado de validación. El tamaño de muestra está además en correspondencia con el utilizado por Chun et al. (Chun & Sheng, 2015) y Tsovaltzi et al. (Tsovaltzi et al., 2016).

Entre los 25 usuarios (3 docentes) se consideró a tres que no son usuarios de Facebook y son detractores de su uso en el ámbito académico (dos docentes y un estudiante). En el estudio que realizan Chun et al., se identificaron que las publicaciones del profesor en un grupo Facebook recibe mayor atención que la de los estudiantes (Chun & Sheng, 2015). Para evitar que la opinión del docente generara influencia en el proceso de aprendizaje informal, en nuestro trabajo el docente no aporta contenido sino que evalúa la calidad del proceso de aprendizaje informal. El experimento se estructuró en tres fases.

En la primera fase se evaluó la herramienta por parte de los 25 usuarios durante el período de un mes (Octubre 2016). Los usuarios con cuenta en Facebook utilizaron la autenticación Facebook y a los otros tres se les asignó credenciales en la aplicación *Gamma*. A los participantes se les dio las siguientes órdenes de manejo de la herramienta:

1. Autenticarse en la aplicación (utilizando Facebook o no, dependiendo del usuario).
2. Acceder al menú de opciones y verificar la lista de publicaciones realizadas por su usuario en *Sigma* / *Gamma*.
3. Compartir un recurso educativo mediante *Gamma* y seleccionar la o las categorías a las que pertenece el recurso educativo.

Posteriormente, se les indicó utilizar libremente la herramienta durante un mes, además de que interactuaran, de forma paralela, de considerarlo oportuno, con la aplicación *Sigma* en Facebook. Al final de esta fase, se cuantificó y socializó el resultado del uso de la aplicación.

En la segunda fase se aplicó un cuestionario basado en los criterios de usabilidad de Nielsen (Nielsen, 1999) para determinar el nivel de usabilidad de la aplicación *Gamma*.

En la tercera fase del experimento se tomó como referencia el trabajo de Tsovaltzi, para diseñar un test con nueve indicadores (*Tabla 2*), a evaluar utilizando la escala de Likert, y dos preguntas abiertas para conocer la opinión de los usuarios sobre *Gamma*. Los indicadores 1 al 5 están relacionados con la pregunta de investigación P1 y los indicadores 6 al 9 con P2. Las preguntas están relacionadas a las preguntas de investigación P1 y P2, respectivamente.

Tabla 2. Indicadores de evaluación de *Gamma* en la tercera fase del experimento.

No.	Indicadores
1	Las estadísticas generadas reflejaron la relevancia real de sus recursos educativos.
2	Las estadísticas generadas reflejaron la relevancia real de los recursos educativos de otros.
3	Los gráficos generados reflejaron la relevancia real de sus recursos educativos.
4	Los gráficos generados reflejaron la relevancia real de los recursos educativos de otros.
5	La aplicación identificó los recursos educativos más relevantes de la comunidad educativa y permitió aprender de su contenido.
6	Las estadísticas generadas permitieron cuantificar el impacto del uso de la red social para el acceso a sus recursos educativos.
7	Las estadísticas generadas permitieron cuantificar el impacto del uso de la red social para el acceso a los recursos educativos de otros miembros de la comunidad.
8	Los gráficos permitieron cuantificar el impacto del uso de la red social para el acceso a sus recursos educativos
9	Los gráficos permitieron cuantificar el impacto del uso de la red social para el acceso a los recursos educativos de otros miembros de la comunidad.

Pregunta 1. ¿Qué beneficio le representó el uso de *Gamma* con respecto al aprendizaje?

Pregunta 2. ¿Cuáles considera que son los puntos fuertes y débiles de la aplicación *Gamma*?

3. Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en cada fase se muestran a continuación:

Primera Fase.

Las órdenes de manejo de la herramienta fueron cumplidas de forma exitosa y permitieron establecer un punto de partida sólido para la evaluación experimental de la herramienta. Por su parte, en la *Tabla 3* se presentan las estadísticas generales recuperadas por *Gamma* durante el mes del experimento con los 25 usuarios:

Tabla 3. Estadísticas generales de *Gamma*.

Característica	Estadística	Cantidad
Usuarios	Número total de usuarios	25
Recursos Educativos	Número total del recursos educativos	67
	Autor con menor número de recursos educativos	1
	Autor con mayor número de recursos educativos	5
Acciones Sociales	Número total de shares	9
	Número total de visits	210
	Número total de likes	133

Según las estadísticas, se observa que durante el mes del experimento existió una cantidad representativa de publicaciones de recursos educativos y acciones sociales; se observa además, que todos los usuarios publicaron por lo menos un recurso educativo, lo que asegura que todos los usuarios están en la capacidad de valorar la aplicación en las fases posteriores del experimento. Por su parte, en la *Tabla 4* se muestran las áreas con mayor y menor interés respectivamente, de acuerdo al número de recursos educativos compartidos en cada una de ellas. Se observa que la población escogida para el experimento tiene un marcado interés en temáticas del área de ingeniería de software y que, por tanto, están en condiciones de evaluar los datos de seis meses de trabajo previo con estudiantes de la Carrera de Sistemas.

Tabla 4. Estadísticas de áreas con mayor cantidad de recursos educativos.

Criterio	Área	Recursos Educativos
Áreas de mayor interés	Seguridad informática	13
	Desarrollo de software	12
	Aplicaciones informáticas	9
Áreas de menor interés	Gestión de proyectos informáticos	1
	Gestión financiera empresarial	1
	Auditoría informática	1

Adicionalmente, se verificó el registro académico de los estudiantes y se comprobó que existe una correspondencia entre los estudiantes con rendimiento más alto y los usuarios más relevantes en el uso de la aplicación, en consonancia con estudios que sugieren que hacer uso de las capacidades de colaboración a través de Facebook influye positivamente en el rendimiento estudiantil (Junco, 2015) (Nevzat et al., 2016) (Brech et al., 2016).

Se revisó la relación de las estadísticas entre usuarios y recursos educativos y se comprobó que existe correspondencia entre los artículos más relevantes y los usuarios con mayor influencia y los artículos menos relevantes con los usuarios menos influyentes. Los artículos más relevantes tienen que ver con innovación y tecnología actual mientras que los menos relevantes tienen que ver con conceptos básicos, lo que puede deberse a la diferencia en el grado de investigación entre estudiantes.

Segunda Fase.

De los diez criterios de usabilidad de Nielsen (Nielsen, 1999), "Ayuda al Usuario" y "Documentación" fueron excluidos del análisis por cuanto más del 80% de los participantes en el experimento consideraron que no se aplicaban por la filosofía en que opera la herramienta y el contexto de aplicación de esta. Los resultados de la aplicación de la encuesta de usabilidad de *Gamma* se tabularon en el cuadro que se muestra a continuación (*Tabla 5*). Se utilizó la escala de Likert con los siguientes criterios: completamente deficiente – deficiente – aceptable – satisfecho – completamente satisfecho.

Tabla 5. Resultados de evaluación de usabilidad de *Gamma*.

No	Criterios de Nielsen	Satisfacción (%)
1	Visibilidad de estado del sistema	92
2	Igualdad entre sistema y mundo real	88
3	Control y libertad del usuario	96
4	Consistencia y estandarización	92
5	Prevención de errores	92
6	Visibilidad en lugar de rellamadas	92
7	Flexibilidad y eficiencia de uso	96
8	Estética y simplicidad en el diseño	96

El resultado demuestra el nivel de usabilidad de la herramienta reconocido por los encuestados, por cuanto los criterios menos satisfactorios fueron aquellos en que solo tres, de los veinticinco participantes en el experimento consideraron que el criterio de usabilidad no se cumplía de forma satisfactoria.

Tercera Fase.

Se procesaron las valoraciones obtenidas de los indicadores, divididos en dos grupos, según las preguntas de investigación definidas. En la *Figura 4* se muestra los resultados de la valoración. Realizando un análisis de tendencia de las valoraciones de los indicadores vemos que hay una marcada tendencia a la verificación positiva de las preguntas de investigación P1 y P2. Los gráficos tienen una ligera valoración más positiva que las estadísticas y el criterio de evaluación de la retroalimentación de los recursos educativos propios es superior a la de los de otros usuarios, lo cual puede deberse a que los usuarios estén mejor identificados con sus recursos que con los de otros usuarios.

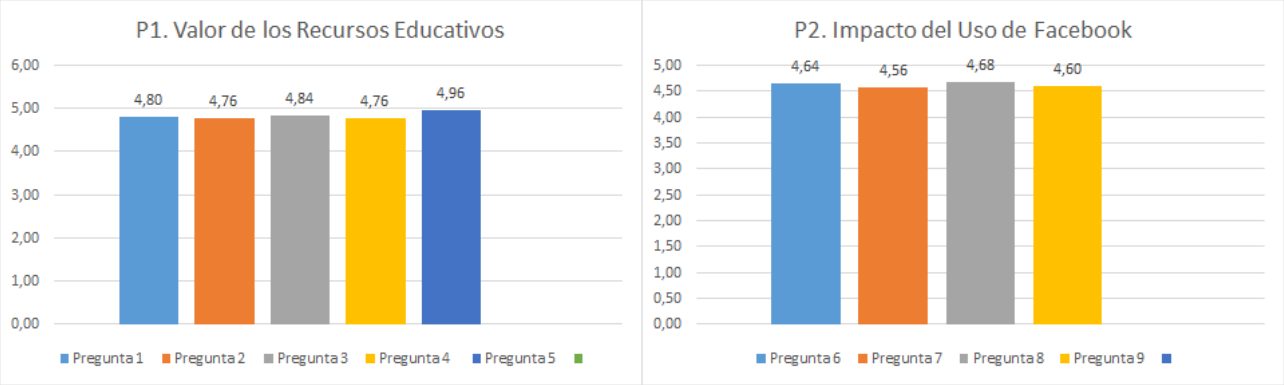


Figura 4. Resultados del procesamiento de las encuestas.

Por su parte, en las respuestas a la primera pregunta abierta, las opiniones más significativas en las que coinciden los encuestados indican que la aplicación apoya el aprendizaje informal, por cuanto retroalimenta el proceso de consumo de recursos educativos compartidos. Este resultado coincide con el de Tsovaltzi et al., quienes determinaron que la discusión argumentada de un tema académico en la red social favoreció a la ganancia de conocimiento de los estudiantes (Tsovaltzi et al., 2016). Los usuarios recalcaron que vieron incrementado su conocimiento consultando el contenido más relevante, el que es fácilmente identificable a través de las estadísticas generadas por la aplicación. También se mencionó por parte de los usuarios que *Gamma* permite conocer el "valor social" de las contribuciones de un usuario y que esto es indicador válido del nivel de conocimiento y/o aceptación que posee el usuario en relación al contenido y áreas temáticas de interés de la comunidad educativa.

En las respuestas a la segunda pregunta, se mencionaron como puntos fuertes de la aplicación la retroalimentación que ofrecen las estadísticas con relación a la interacción de la comunidad educativa en Facebook, la claridad y personalización de las estadísticas a voluntad del usuario, la integración de usuarios contrarios al uso de Facebook y de usuarios que están a favor del uso de la red social en la enseñanza aprendizaje. Como punto débil de la propuesta, y aspecto que pretendemos incluir en el trabajo futuro de la presente investigación, los usuarios señalan la necesidad de optimizar el mecanismo de notificaciones, haciendo que tenga en cuenta el contenido de los recursos educativos y el perfil de cada usuario.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Si bien, la construcción de *Sigma* garantizó la gestión de un repositorio digital académico en Facebook, es *Gamma* la herramienta que garantiza la retroalimentación con relación a lo que sucede en el proceso de aprendizaje informal que tiene lugar. Con esta herramienta se cierra el ciclo del proceso de formación académica informal en las redes sociales que se ha propuesto por cuanto permite evaluar cuantitativamente el impacto del uso de la red social en el proceso de formación académica, y la evaluación de los resultados obtenidos en la experimentación con la herramienta fue satisfactoria.

La herramienta *Gamma* tomó en cuenta los beneficios de las herramientas reportadas en la literatura y reforzó las debilidades detectadas en las mismas. Muestra estadísticas y gráficas claras e interpretables y crea un espacio alternativo de administración del contenido académico que además integra a usuarios que están a favor y usuarios que están en contra del uso de la red social Facebook en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Como trabajo futuro, se pretende definir formalmente el proceso de aprendizaje informal soportado por las herramientas, optimizar el mecanismo de notificaciones, haciendo que tenga en cuenta el contenido de los recursos educativos y el perfil de cada usuario, llevar a cabo una evaluación longitudinal de impacto en el rendimiento académico de los estudiantes y fortalecer la capacidad de apoyo a la toma de decisiones con un sistema automático de recomendaciones basado en la experiencia de uso de *Sigma* y *Gamma*. Es importante señalar que los resultados obtenidos son parciales, por cuanto en el experimento participaron estudiantes de una única facultad de la Universidad Técnica de Ambato y se trabajó con un único proceso educativo. Como trabajo futuro también nos proponemos extender el ámbito de la experimentación llevada a cabo.

Bibliografía

Abdulahi, A., Samadi, B., y Gharleghi, B. (2014). A Study on the Negative Effects of Social Networking Sites Such as Facebook among Asia Pacific University Scholars in Malaysia. *International Journal of Business and Social Science*, *5*(10), 133–145.

Astin, A. (1993). What matters in college: Four critical years revisited*. The Journal of Higher Education.Washington*, *22*(8).

Brech, F., Messer,U., Vander Schee, B., Rauschnabel, P., y Ivens, B. (2016). Engaging fans and the community in social media: interaction with institutions of higher education on facebook*. Journal of Marketing for Higher Education*, 1–19.

Chun-Jung, C., y Sheng-Yi, W. (2015). A case study exploring junior high school student's interaction behavior in a learning community on Facebook: Day and time. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, *12*(2), 99–106.

Cunha, F.R., van Kruistum, C., y van Oers, B. (2016). Teachers and facebook: using online groups to improve students' communication and engagement in education. *Communication Teacher*, *30*(4), 228–241.

Fernández-Peña, F., y Urrutia-Urrutia, P. (2016). Construcción de un repositorio digital académico utilizando facebook. *Tecnología, innovación e investigación en los procesos de enseñanza-aprendizaje*. Edit. Octaedro.

Gómez, M., Roses, S., y Farias, P. (2012). The Academic Use of Social Networks among University Students. Comunicar, *38*, 131 – 138.

Gordon, J. (2014). How is language used to craft social presence in facebook? a case study of an undergraduate writing course. *Education and Information Technologies*, *21*(5), 1033–1054.

Junco, R. (2011). The relationship between frequency of Facebook use, participation in Facebook activities, and student engagement. *Computers and Education*, *58*(1), 162–171.

Junco, R. (2012). Too much face and not enough books: The relationship between multiple indices of Facebook use and academic performance*. Computers in Human Behavior*, *28*(1), 187–198.

Junco, R. (2015). Student class standing, Facebook use, and academic performance. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *36*, 18–29.

Kirschner, P. A., y Karpinski, A. C. (2010). Facebook and academic performance*. Computers in Human Behavior*, *26*(6), 1237–1245.

Kirschner, P.A. (2015). Facebook as learning platform: Argumentation superhighway or dead-end street?. *Computers in Human Behavior*.

Kitto, K., Cross,S., Waters, Z., y Lupton, M. (2015). Learning Analytics beyond the LMS: the Connected Learning Analytics Toolkit. Computers in Human Behavior, 11–15.

Michikyan, M., Subrahmanyam, K., y Dennis, J. (2015). Facebook use and academic performance among college students: A mixedmethods study with a multi-ethnic sample. *Computers in Human Behavior*, *45*, 265–272.

Nevzat, R., Amca, Y., Tanova, C. y Amca, H. (2016). Role of social media community in strengthening trust and loyalty for a university. *Computers in Human Behavior*, *65*, 550–559.

Nielsen, J. (1999). Designing web usability: The practice of simplicity. New Riders Publishing.

Oklar, A. N. C. (2012). Evaluations of Students on Facebook as an Educational Environment. *Turkish Online Journal of Qualtitative Inquiry*, *3*(April), 42–53. Recuperado de http://www.tojqi.net/articles/TOJQI_3_2/TOJQI_3_2_Article_4.pdf

Pérez, J., Le, K., y de la Cruz, J. (2014). Integrating Facebook in the classroom: Pedagogical dilemmas. *Journal of Instructional Pedagogies*, 1–10. Recuperado de http://www5.aabri.com/manuscripts/131752.pdf

Puhl, T., Tsovaltzi, D., y Weinberger, A. (2015). A Long-Term View on Learning to Argue in Facebook: The Effects of Group Awareness Tools and Argumentation Scripts. *Paper presented at Computer Supported Collaborative Learning Conference (CSCL)*, *Gothenburg, Sweden.*

Tsovaltzi, D., Weinberger, A., Scheuer, O., Dragon, T., y McLaren, B. M. (2011). Collaborative learning in Facebook: Can argument structure facilitate academic opinion change? *CSCL Conference Proceedings*, 2–5.

Yunus, M., y Salehi, H. (2012). The effectiveness of Facebook groups on teaching and improving writing: Student's perceptions. *International Journal of Educational and Information Technologies*, *6*(1), 87–96.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.232 - 243
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Razonamiento basado en casos aplicado al diagnóstico médico utilizando clasificadores multi-clase: Un estudio preliminar

(Case based reasoning applied to medical diagnosis using multi-class classifier: A preliminary study)

D. Viveros-Melo [1], M. Ortega-Adarme [2], X. Blanco Valencia [3], A. E. Castro-Ospina [4]
S. Murillo Rendón [5], D. H. Peluffo-Ordóñez [6]

Abstract:
Case-based reasoning (CBR) is a process used for computer processing that tries to mimic the behavior of a human expert in making decisions regarding a subject and learn from the experience of past cases. CBR has demonstrated to be appropriate for working with unstructured domains data or difficult knowledge acquisition situations, such as medical diagnosis, where it is possible to identify diseases such as: cancer diagnosis, epilepsy prediction and appendicitis diagnosis. Some of the trends that may be developed for CBR in the health science are oriented to reduce the number of features in highly dimensional data. An important contribution may be the estimation of probabilities of belonging to each class for new cases. In this paper, in order to adequately represent the database and to avoid the inconveniences caused by the high dimensionality, noise and redundancy, a number of algorithms are used in the preprocessing stage for performing both variable selection and dimension reduction procedures. Also, a comparison of the performance of some representative multi-class classifiers is carried out to identify the most effective one to include within a CBR scheme. Particularly, four classification techniques and two reduction techniques are employed to make a comparative study of multi-class classifiers on CBR.

Keywords: Case based reasoning; High dimensionality; Variable selection.

Resumen:
CBR ha demostrado ser apropiado para trabajar con datos de dominios poco estructurados o situaciones donde es difícil la adquisición de conocimiento, como es el caso del diagnóstico médico, donde es posible identificar enfermedades como: cáncer, predicción de epilepsia y diagnóstico de apendicitis. Algunas de las tendencias que se pueden desarrollar para CBR en la ciencia de la salud están orientadas a reducir el número de características en datos de gran dimensión. Una contribución importante puede ser la estimación de probabilidades de pertenencia a cada clase para los nuevos casos. Con el fin de representar adecuadamente la base de datos y evitar los inconvenientes causados por la alta dimensión, ruido y redundancia de los mimos, en este trabajo, se utiliza varios algoritmos en la etapa de pre-procesamiento para realizar una selección de variables y reducción de dimensiones. Además, se realiza una comparación del rendimiento de algunos clasificadores multi-clase representativos para identificar el más eficaz e incluirlo en un esquema CBR. En particular, se emplean cuatro técnicas de clasificación y dos técnicas de reducción para hacer un estudio comparativo de clasificadores multi-clase sobre CBR.

Palabras clave: Razonamiento basado en casos; alta dimensión; selección de variables.

[1,2] Universidad de Nariño, Pasto – Colombia (dianavive.77@udenar.edu.co, mabel12-02@udenar.edu.co)
[3] Universidad de Salamanca, Salamanca – España (xiopepa@usal.es)
[4] Tecnológico Metropolitano, Medellín – Colombia (andrescastro@itm.edu.co)
[5] Universidad Autónoma de Manizales, Manizales – Colombia (smurillo@autonoma.edu.co)
[6] Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador (dhpeluffo@utn.edu.ec)

1. Introduction

Case-based Reasoning (CBR) solves new problems by retrieving previously solved problems and reusing the corresponding solutions. The specificity of the case-based approach of reasoning lies in its focus on the inseparability of reasoning from memory and from learning (Bichindaritz & Conlon, 1996) In CBR terminology, a case usually denotes a problem situation. A previously experienced situation, which has been captured and learned in a way that it can be reused in the solving of future problems, is referred to as a past case, previous case, stored case, or retained case. Correspondingly, a new case or unsolved case is the description of a new problem to be solved. Case-based reasoning is - in effect - a cyclic and integrated process of solving a problem, learning from this experience, solving a new problem, etc. (Aamodt & Plaza, 1994).

The common life cycle for solving a problem using CBR is mainly carried out in four-step process (Trendowicz & Jeffery, 2014):

1. Retrieve: One or more problems that are similar to the new problem are retrieves from the base of previously solved problems, and one attempts to modify them to fit the new problem parameters.
2. Reuse: The solutions of the selected previous problems are reused to solve the new one.
3. Revise: The solved new problem is then revised against the actual solution.
4. Retain: When successfully tested, it is added to the base of previous problems to be reused for solving future problems.

In particular, CBR has demonstrated to be an appropriate methodology for:

- Working with unstructured domains data or difficult knowledge acquisition situation, for example, formal models or universally applicable guidelines do not well understand many diseases (Herrero, 2007), (Bichindaritz & Marling, 2006).

- Help Desk systems used in the area of customer service to solve problems with products or services (Jenal, Gonzales, Alejo, & Ramos López, 2006).

- Predictions of the possible success of a proposed solution when the information is stored considering the level of success of the solutions, the case-based reasoned can be able to predict proposed solution to the current problem. Clearly, the reasoner will have in not only those levels of success stored but also the differences between the Case or cases recovered and the current situation (Lozano & Fernández, 2008).
- Automatic Acquisition of Subjective Knowledge because CBR systems exhibit an incremental knowledge acquisition, and knowledge can be abstracted by generalizing cases (Phuong, Hoang, Prasad, Hung, & Drake, 2001).

- Medical diagnosis based on the similarity of the symptoms of the base of cases with the current case select the one that best suits to make a diagnosis (Jenal, Gonzales, Alejo, & Ramos López, 2006).

Among these tasks, medical diagnosis has been one of the most popular research subjects in both medical informatics and computer science communities. Medical diagnosis is the process aiming at identifying diseases based on findings (such as symptoms, lab reports, patient's complaints, and other environmental factors) Adapting computer aided decision support systems to the diagnosis process requires a database-like medical knowledge base, and a problem-solving strategy applied to the knowledge base. A single problem solving strategy may be sufficient for simple diagnosis problems However, some difficulties may arise when the diagnosis problem becomes complex (Wang, Hsien-Tseng, & Tansel, 2013).

So, the CBR, is a reasoning process, which is medically accepted and also getting increasing attention from the medical domain. A number of benefits of applying CBR in the medical domain have already been identified (Bichindaritz & Marling, 2006), (Gierl, Bull, & Schmidt, 1998), (Montani, 2008). However, the medical applications offer several challenges for the CBR researchers and drive advances in research (Begum, Ahmed, Funk, Xiong, & Folke, 2011).

In order to adequately represent data and to avoid the inconveniences caused by its high dimensionality, we propose the use of variable selection and dimension reduction techniques in a preprocessing stage for CBR tasks, finally, we make a comparative study of multi-class classifiers to assess processed data performance.

The rest of this paper is structured as follows: Section II describes the proposed methodology, as well as the pattern recognition procedures used in this work. Section III presents the proposed experimental setup. Results and discussion are gathered in section IV. Finally, some concluding remarks and future works are drawn in Section V.

2. Material and Methods

This section outlines the proposed framework to assess the feasibility of using multi-class schemes within CBR approaches. Particularly, we resort to the adaptation of a pattern recognition stages into the CBR life cycle.

In the CBR scheme, the recovery is the most important stage, since in this phase the system finds the most similar cases to the current unknown case, simulating an efficient memory as a human expert would (Kolodner, 1983). By combining the CBR methodology with classifiers, a cost function would be used to find the nearby cases.

The next stage where we adapt classifiers would be in the adaptation stage, because we want to show the answer in terms of probabilities. With the classifier, we can find the membership degree of the new case in each of the classes, which would be helpful for medical staff.

To that end, we propose to carry out a comparative study of multi-class classifiers within preprocessing, recovery, and adaptation CBR stages. Fig. 1 depicts the proposed methodology to perform the comparison of multi-class classifiers.

A. Preprocessing

Variable selection: First, as preprocessing stage a variable selection procedure is employed. In this work, we use the so-called correlation based feature subset (CfsSubsetEval) algorithm, which evaluates the relevance of a subset of attributes by considering the individual predictive ability of each feature along with the degree of redundancy among them. Subsets of features that are highly correlated with the class while having low intercorrelation are preferred. And as search method the bestfirst algorithm, to reduce the number of parameters per instance of a dataset with a backtracking. It starts with the whole set of attributes and search backward to reduce the number of parameters per instance of a dataset.

Dimensionality Reduction: After performing variable selection and aiming to improve both visual inspection and classification performance, a dimensionality reduction stage is employed by using well known methods, namely Laplacian Eigenmaps (LE), that uses spectral techniques to perform dimensionality reduction. This technique relies on the basic assumption that the data lies in a low-dimensional manifold in a high-dimensional space (Belkin, 2003) and t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE), it is a nonlinear dimensionality reduction technique that is particularly well-suited for embedding high-dimensional data into a space of two or three dimensions, which can then be visualized in a scatter plot.

B. Adaptation and recovery

Here, with the aim of accomplishing a multi-class case recovery, representative multi-class classifiers are considered. Due to their characteristics, we select the following classifiers: *K* Nearest Neighbor Classifier (*K*-NN) being a geometric-distance-based-approach, artificial neural networks (ANN) being a heuristic-search-based approach, support vector machines (SVM) being a model-based classifier, and Parzen's Classifier (PC) being a non-parametric density-based classifier.

3. Experimental Setup

A. *Database*

For evaluating the proposed methodology, we used two databases from UCI Machine Learning Repository. The first one, named Cardiotocograms, contains 2126 fetal cardiotocograms belonging to different classes. The dataset consists of measurements of fetal heart rate (FHR) and uterine contraction (UC) features on cardiotocograms classified by expert obstetricians. This data set consists of 21 attributes which include LB - FHR baseline (beats per minute), AC of accelerations per second, FM of fetal movements per second, UC of uterine contractions per second, DL of light decelerations per second, DS of severe decelerations per second, DP of prolonged decelerations per second, ASTV percentage of time with abnormal short term variability, MSTV mean value of short term variability, ALTV percentage of time with abnormal long term variability, MLTV mean value of long term variability, Width width of FHR histogram, Min minimum of FHR histogram, Max Maximum of FHR histogram, Nmax of histogram peaks, Nzeros of histogram zeros, Mode - histogram mode, Mean histogram mean, Median histogram median, Variance histogram variance, Tendency histogram tendency, CLASS FHR pattern class code (1 to 10) and NSP fetal state class code (Normal=1; Suspect=2; Pathologic=3).

The second database, named Cleveland, contains 303 instances. The "goal" field refers to the presence of heart disease in the patient. It is integer valued from 0 (no presence) to 4. Experiments with the Cleveland database have concentrated on simply attempting to distinguish presence (values 1,2,3,4) from absence (value 0). Consisting of 13 attributes which include age, sex, chest pain type (Typical angina=1; Atypical angina= 2; Non-anginal pain=3; Asymptomatic=4), resting blood pressure, cholesterol, fasting blood sugar (True=1; False=0), resting electrocardiographic results (Normal=1; Having ST-T wave abnormality (T wave inversions and/or ST elevation or depression of > 0.05 mV)=2; Showing probable or definite left ventricular hypertrophy by Estes' criteria=3), maximum heart rate, exercise induced angina (Yes=1; No=0), oldpeak, slope (Upsloping=1; Flat=2; Downsloping=3), number of vessels coloured, thal (Normal=3; Fixed defect=6; Reversible defect=7) and the classification values from 0 no presence to 4 types of heart diseases.

B. Parameter settings and procedures

As outcomes of the preprocessing stage, we obtain that Cardiotocograms database is reduced to 10 features, and Cleveland database to 7 features. Subsequently, as part of the same stage, by using dimensionality reduction techniques Cardiotocogram database is reduced to a 2-, 3-, 5-, 8-dimensional space. Likewise, Cleveland database is reduced to 2-, 3-, 5-dimensional space. As well, the whole subset of selected variables is considered for both databases.

For classification techniques, it should be stated out that a 20-fold cross-validation was performed to achieve unbiased results. Particularly, the following setup is established:

- *K-NN:* Is a nonparametric supervised classification method based on distances. This instance-based classification technique needs a value for the number of neighbors (K), such parameter is optimized by means of a leave-one-out strategy, is K-fold cross validation taken to its logical extreme, with K equal to N, the number of data points in the set. That means that N separate times, the approximate function is trained on all the data except for one point and a prediction is made for that point.

- *ANN*: The heuristic-based classification technique requires a number of units per hidden layer. In this work, a back-propagation trained feed-forward neural net is used with a single hidden layer. The number of units is computed from the data itself as the half of the instances divided by feature size plus the number of classes. The weight initialization consists of setting all weights to be zero, as well as the dataset is used as a tuning set.

- *SVM*: This instance-based classification method takes advantage of the kernel trick to compute the most discriminative non-linear hyperplane between classes. Therefore, its performance heavily depends on the selection and tuning of the kernel type. For this work a Gaussian kernel is selected given its ability of generalization and its band-width parameter was fixed by the Silverman's rule (Sheather, 2004).

- *PC*: This probabilistic-based classification method requires a smoothing parameter for the Gaussian distribution computation, which is optimized.

As a performance measure, it is used the standard mean classification error.

4. Results and Discussion

Achieved results for different number of dimensions as well as different classifiers are shown in Table I as the mean and standard deviation over the 20 folds runs. It can be seen how Cleveland dataset is a challenge task since performance is poor for all classifiers. It should be stated also that dimensionality reduction does not necessarily improves classification performance for both dimensionality reduction techniques. Nevertheless, by reducing dimensionality there is a gain in visual analysis of data as can be appreciated in *Figure 1*, particularly it can be seen how in 2D (*Figures 2(a) and 2(c)) and 3D (Figures 2(b) and 2(d*)) Cleveland data is highly overlapped which is consistent with achieved results. It should be noted that the error for SVM classifier is 0.397 ± 0.07, which is not far from the result obtained in (Bhatia, Praveen , & Pillai, 2008), where the classification accuracy with 7 attributes is of 70.36%.

Table 1. Achieved classification performance over 20-fold cross validation for considered databases and dimensionality reduction techniques

DB	Reduction Technique	# dimd	*K*-NN	ANN	SVM	PC
Cleveland	t-SNE	2	0.381 ± 0.08	0.389 ± 0.067	0.389 ± 0.013	0.393 ± 0.093
		3	0.382 ± 0.06	0.367 ± 0.09	0.389 ± 0.013	0.393 ± 0.069
		5	0.397 ± 0.07	0.362 ± 0.089	0.389 ± 0.028	0.4 ± 0.087
		7	0.397 ± 0.07	0.347 ± 0.062	0.401 ± 0.029	0.393 ± 0.069
	LE	2	0.408 ± 0.069	0.393 ± 0.077	0.389 ± 0.013	0.393 ± 0.041
		3	0.397 ± 0.066	0.397 ± 0.075	0.389 ± 0.013	0.374 ± 0.047
		5	0.389 ± 0.067	0.404 ± 0.085	0.412 ± 0.036	0.389 ± 0.067
		7	0.389 ± 0.065	0.382 ± 0.065	0.397 ± 0.07	0.404 ± 0.064
Cardiotocograms	t-SNE	2	0.037 ± 0.015	0.084 ± 0.038	0.071 ± 0.017	0.077 ± 0.017
		3	0.036 ± 0.016	0.073 ± 0.02	0.054 ± 0.019	0.076 ± 0.018
		5	0.032 ± 0.017	0.088 ± 0.017	0.039 ± 0.019	0.075 ± 0.016
		8	0.035 ± 0.016	0.079 ± 0.016	0.033 ± 0.017	0.075 ± 0.019
		10	0.031 ± 0.017	0.082 ± 0.036	0.028 ± 0.016	0.076 ± 0.019
	LE	2	0.045 ± 0.014	0.078 ± 0.016	0.086 ± 0.017	0.102 ± 0.023
		3	0.054 ± 0.018	0.072 ± 0.015	0.061 ± 0.016	0.09 ± 0.02
		5	0.042 ± 0.014	0.075 ± 0.031	0.048 ± 0.014	0.09 ± 0.016
		8	0.039 ± 0.015	0.067 ± 0.019	0.038 ± 0.013	0.065 ± 0.016
		10	0.381 ± 0.25	0.06 ± 0.017	0.038 ± 0.016	0.063 ± 0.016

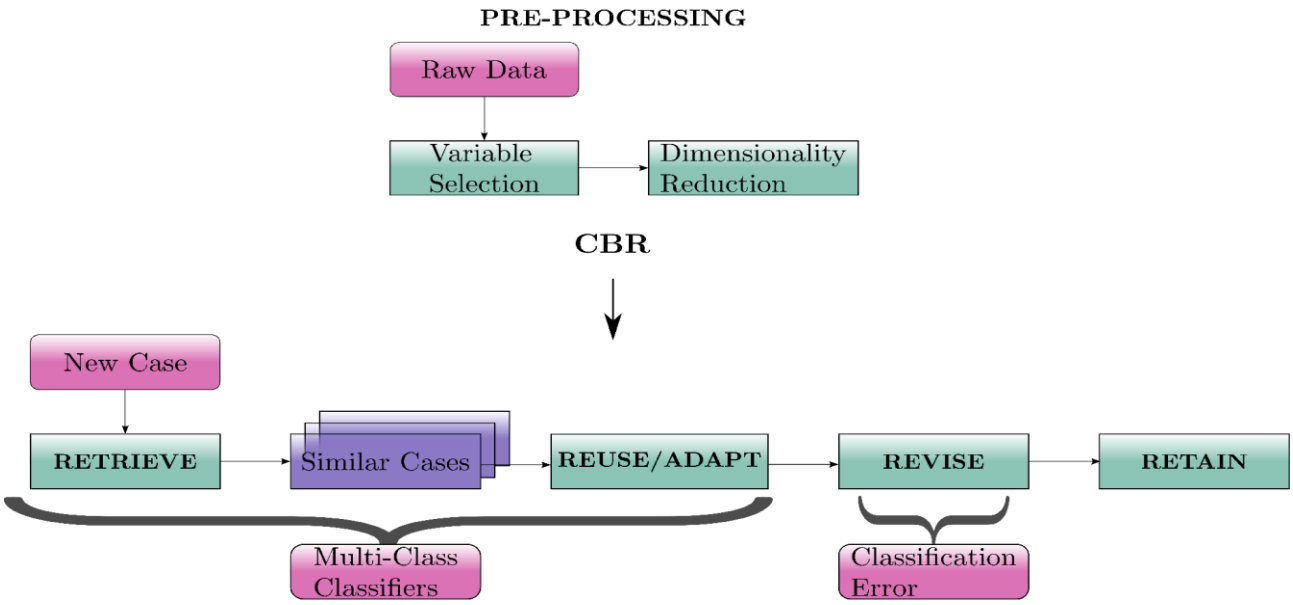
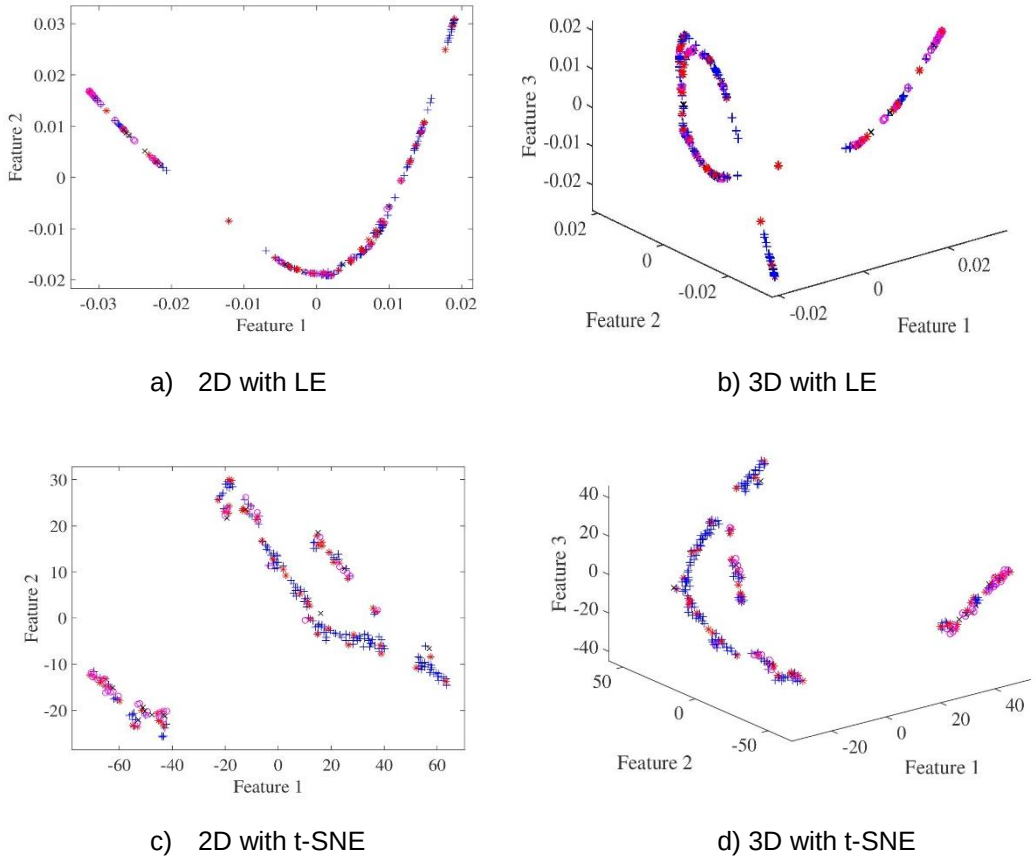


Figure 1. Block diagram of proposed methodology. The aim of the comparative study is assessing the possibility of incorporating multi-class classifiers into CRB approaches design, as well as identifying the best classifier for this task



a) 2D with LE

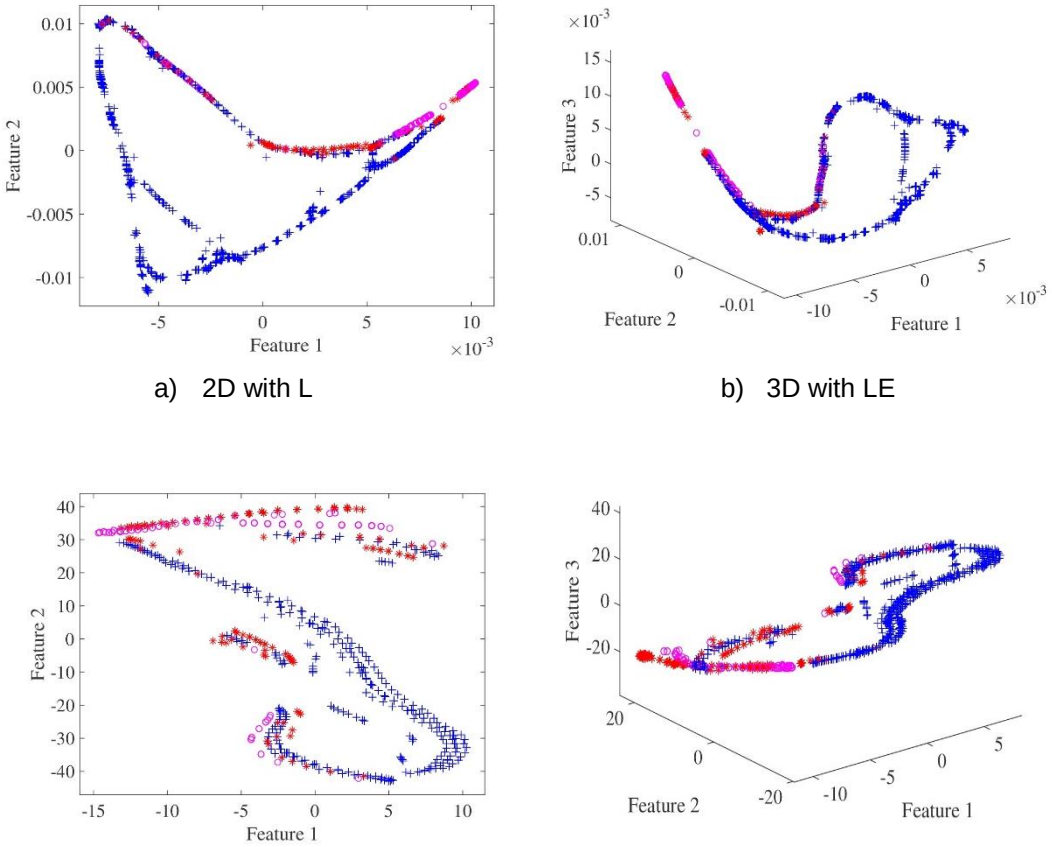
b) 3D with LE

c) 2D with t-SNE

d) 3D with t-SNE

Figure 2. Low-dimensional scatterplots for Cleveland database. Figures (a), (c) show the first two features from database. Figures (b), (d) show the first three features from database.

For cardiotocograms dataset classes separability is evident in lower dimensions, i.e. 2D and 3D, as depicted in Figures 3(a) to 3(d) leading to outstanding results as shown in Table I, however, as for Cleveland dataset, dimensionality reduction does not substantially improve classification performance on Cardiotocograms dataset even though it enhances data visualization. We can see that for the Cardiotocograms database the best result was using the SVM classifier the error is 0.028 ± 0.016, improving the results obtained in (Sundar, Chitradevi, & G. , 2012) where they achieved an average accuracy of 0.9328.



a) 2D with L

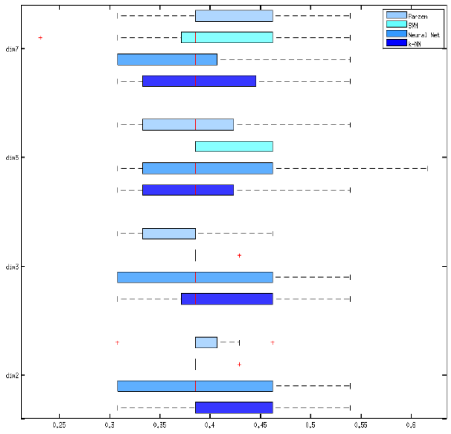
b) 3D with LE

c) 2D with t-SNE

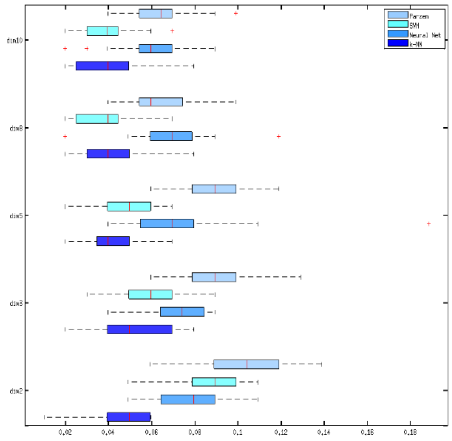
d) 3D with t-SNE

Figure 3. Low-dimensional scatterplots for Cardiotocograms database. Figures (a), (c) show the first two features from database. Figures (b), (d) show the first three features from database.

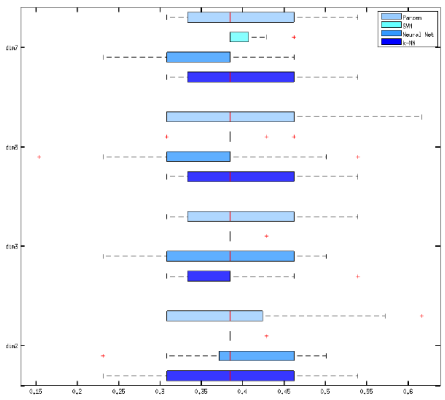
By performing a stability assessment, it could be seen from Figure 4 by the width of the error boxplots how SVM and *K*-NN classifiers achieves the best results for considered Cardiotocogram and Cleveland databases. Moreover, it should be noted how SVM classification results are the most stable of the considered classification techniques.



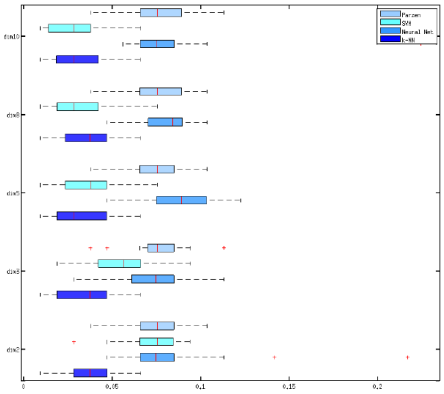
a) Cleveland DB LE



b) Cardiotocograms DB t-SNE



c) Cleveland DB t-SNE



d) Cardiotocograms DB t-SNE

Figure 4. Classification error boxplots for considered classification techniques on Cleveland and Cardiotocograms databases

5. Conclusions and future work

This work presents a feasibility evaluation of the use of techniques from the field of pattern recognition into CBR frameworks, so that conventional CBR can be extended to multi-class scenarios. The above, with the aim of facilitating decision making in the diagnostic support, especially in situations where subcategories may exist and even emerging categories according to the condition of the patients.

Experimentally we prove that the SVM classifier is a good candidate for integration with the CBR approach to create a generic system to assist physicians in the diagnosis of patients and is capable of working with databases multiclass associating probabilities each class, responding to one of the challenges of (Bichindaritz & Marling, 2006), (Kwiatkowska & Atkins, 2004).

As a future work, we will explore the possibility to design a case recovery stage for CBR able to deal with multi-class cases while providing users with class membership (probabilities to belong) estimates for a new case, improving usability with respect to conventional approaches and, in addition, providing more meaningful information to the expert at the review stage in order to provide a more accurate diagnosis.

To improve the performance of the classifiers, we will study new techniques of variable selection and reduction of dimensions, as well as techniques of data balancing for databases that require it as is the case of Cleveland, due to problems such as class overlapping or the lack of data representative of input data.

Acknowledgments

Authors would like to thank to the Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas as well as electronic engineering and telecommunications program from Universidad Técnica del Norte.

References

Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI communications 7*, 39-59.

Begum, S., Ahmed, M. U., Funk, P., Xiong, N., & Folke, M. (2011). Case-based reasoning systems in the health sciences: a survey of recent trends and developments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 421-434.

Belkin, M. (2003). Problems of learning on manifolds. *The University of Chicago*.

Bhatia, S., Praveen , P., & Pillai, G. (2008). SVM based decision support system for heart disease classification with integer-coded genetic algorithm to select critical features. En *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, WCECS* (págs. 22-24).

Bichindaritz, I. &. (1996). Temporal knowledge representation and organization for case-based reasoning.

Bichindaritz, I., & Conlon, E. (1996). Temporal knowledge representation and organization for case-based reasoning. *Temporal Representation and Reasoning, 1996.(TIME'96), Proceedings., Third International Workshop on*, 152-159.

Bichindaritz, I., & Marling, C. (2006). Case-based reasoning in the health sciences: What's next? *Artificial intelligence in medicine*, 127-135.

Gierl, L., Bull, M., & Schmidt, R. (1998). CBR in Medicine. En *Case-Based Reasoning Technology* (págs. 273-297). pringer Berlin Heidelberg.

Herrero, J. M. (2007). *Una aproximación multimodal al diagnostico temporal mediante razonamiento basado en casos y razonamiento basado en modelos. Aplicaciones en la medicina.*

Jenal, Gonzales, M., Alejo, S. M., & Ramos López, R. (2006). Sistema CBR para presentación de entrenamientos físicos personalizados en Internet.

Kolodner, J. (1983). Maintaining organization in a dynamic long-term memory. *Cognitive science 7*, 243-280.

Kwiatkowska, M., & Atkins, M. (2004). Case representation and retrieval in the diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea: a semio-fuzzy approach. En *Proceedings of the 7th European Conference on Case-Based Reasoning* (págs. 5-35).

Lozano, L., & Fernández, J. (2008). Razonamiento basado en casos: Una visión general.

Montani, S. (2008). Exploring new roles for case-based reasoning in heterogeneous AI systems for medical decision support. *Applied Intelligence 28*, 275-285.

Phuong, Hoang, N., Prasad, N., Hung, D. H., & Drake, J. (2001). pproach to combining case based reasoning with rule based reasoning for lung disease diagnosis. En *IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference, 2001. Joint 9th* (págs. 883-888). IEEE.

Sheather, S. (2004). Density estimation. *Statistical Science 19*, 588-597.

Sundar, C., Chitradevi, M., & G. , G. (2012). Classification of cardiotocogram data using neural network based machine learning technique. *International Journal of Computer Applications 47*.

Trendowicz, A., & Jeffery, R. (2014). *Software project effort estimation: Foundations and best practice guidelines for success.* Springer.

Wang, Hsien-Tseng, & Tansel, A. U. (2013). MedCase: a template medical case store for case-based reasoning in medical decision support. En *Proceedings of the 2013 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining* (págs. 962-967). ACM.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.244 - 256
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura

(Internet of Things and Artificial Vision, Performance and Applications: Literature Review)

Vanessa Alvear-Puertas[1], Paul Rosero-Montalvo[2], Diego Peluffo-Ordóñez[3], José Pijal-Rojas[4]

Resumen:
Internet de las cosas (o también conocido como IoT) es una de las tecnologías más nombradas en la actualidad debido a la capacidad que prevé para conectar todo tipo de dispositivos al Internet, si a las potencialidades de IoT le adicionamos otra tecnología de alto impacto como lo es la Visión Artificial tenemos un amplio campo de aplicaciones innovadoras, donde el procesamiento de imágenes y video en tiempo real permiten la visualización de grandes cantidades de datos en internet. Las principales aplicaciones que se desarrollan con IoT y Visión Artificial pueden ser implementadas en educación, medicina, edificios inteligentes, sistemas de vigilancia de personas y vehículos, entre otros. Este tipo de aplicaciones mejoran la calidad de vida de los usuarios, sin embargo, para su desarrollo se requiere una infraestructura que permita la convergencia de diferentes protocolos y dispositivos, pero de manera especial que puedan manejar las diferentes fases de la adquisición de imágenes. En este trabajo se ha realizado una revisión de los inicios, conceptos, tecnologías y aplicaciones ligados a la Visión Artificial con el Internet de las Cosas para poder comprender de forma precisa el impacto de sus aplicaciones en la vida cotidiana.

Palabras clave: IoT; Aplicaciones de IoT; Visión Artificial

Abstract:
Internet of Things (or also known as IoT) is one of the technologies most named today because of the ability it envisages to connect all kinds of devices to the Internet. If to the potentialities of IoT we add another technology of high impact as It is the Artificial Vision we have a wide field of innovative applications, where the processing of images and video in real time allow the visualization of large amounts of data on the Internet. The main applications developed with IoT and Artificial Vision can be implemented in education, medicine, intelligent buildings, surveillance systems of people and vehicles, among others. This type of applications improves the quality of life of users, however, for their development an infrastructure is required that allows the convergence of different protocols and devices, but in a special way that can handle the different phases of the acquisition of images. In this work, a review of the beginnings, concepts, technologies and applications related to the Artificial Vision with the Internet of Things has been carried out to be able to understand in a precise way the impact of its application in daily life.

Keywords: IoT: IoT applications: artificial vision

[1] Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador (vealvearp@utn.edu.ec)
[2] Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador (pdrosero@utn.edu.ec)
[3] Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador (diegohpo@gmail.com)
[4] Instituto Tecnológico Superior 17 de Julio, Urcuquí-Ecuador (jpijal@istyachay.edu.ec)

1. Introducción

Internet de las Cosas es considerado como una verdadera revolución en el mundo tecnológico, especialmente en las comunicaciones, según (Chen, Xu, Liu, Hu, & Wang, 2014) se trata de una red inteligente que permite el intercambio de información y comunicación entre dispositivos inteligentes, por otra parte (Ansari, A. N., Sedky, M., Sedky, M., & Tyagi, A., 2015) define a IoT como una potente plataforma capaz de conectar dispositivos para monitorear aspectos de la vida cotidiana.

En la actualidad se aplica Internet de las Cosas en áreas de salud, construcciones, tráfico vehicular, agricultura, educación, visión artificial, conservación del ambiente, meteorología, etc. Con la fusión de las diferentes áreas de desarrollo de IoT se busca fortalecer la formación de Smart Cities, según (Zanella, Bui, Castellani, Vangelista, & Zorzi, 2014) el Urban IoT puede mejorar un sinnúmero de servicios públicos y privados dando como resultado un aprovechamiento de los recursos de una forma eficiente y equilibrada. El término Urban IoT se entiende como la tecnología de Internet de las Cosas aplicado a las actividades cotidianas de los ciudadanos y su interacción con los servicios y recursos propios de cada ciudad.

El objetivo de este trabajo es analizar los principales aspectos relacionados a Internet de las Cosas, de manera especial los referentes a Visión Artificial, y las aplicaciones con mayor impacto de IoT en la actualidad.

La estructura del presente documento es la siguiente, en la sección 2 se realiza una revisión sobre los conceptos fundamentales de Internet de las Cosas, más adelante en la sección 3 se explican los principios de Visión Artificial y el tratamiento de imágenes; la sección 4 presenta las principales aplicaciones relacionadas a IoT y Visión Artificial, dando al lector un enfoque amplio de lo que se está desarrollando gracias a estas tecnologías; a continuación en la sección 5 se plantea la discusión generada a partir de este trabajo y finalmente se presentan las conclusiones en la sección 6.

2. Internet de las Cosas (IoT)

Con el transcurso del tiempo el concepto de IoT se ha ido cambiando y transformando. En el 2005, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) publicó su primer informe sobre el IoT (ITU, 2005). Donde menciona al Internet de los Cosas como “Una promesa de un mundo de dispositivos interconectados que proveen contenido relevante a los usuarios” de esta manera se da a conocer al mundo el nuevo término.

En julio de 2012, la UIT declaró un nuevo concepto de IoT (ITU, 2012) "Infraestructura global para la sociedad de la información, que permite que los servicios de interconexión (física y virtual), cosas u objetos existentes y en evolución coexista en un medio".

Cisco en el 2013 define al IoT como la interacción entre los seres humanos y los objetos en diversas aplicaciones, tales como la fabricación, la logística, el sector de los servicios, la agricultura, el reciclaje, gestión ambiental, casas inteligentes y otros, añadiendo una nueva forma de conectividad de los "objetos" a Internet (CISCO, 2013).

Internet de las Cosas (IoT) ha evolucionado con la finalidad de unir a un gran número de elementos con diferentes capacidades de conexión y la computación a una gran y única red, siendo estos capaces de enviar información sobre la Internet, detectar el estado de un entorno, procesar los datos y enviar los resultados.

a. Dificultades de IoT: Los dispositivos “objetos” se expanden cada día, dando lugar para que se extienda a todas las industrias y servicios ocasionando inconvenientes que se citan a continuación:
   - La seguridad y privacidad. -Temas críticos ya que cada objeto puede ser un punto de infección o vulnerabilidad para la toda la red (B. Fabian and O. Gunther, 2007).
   - Movilidad.- El IoT deberá proporcionar una conectividad sin fisuras, independientemente de donde los objetos se colocan o se trasladen, además de tener en cuenta la importancia de no perder datos por ser un objeto móvil (I. F. Akyildiz, 2007).
   - Limitación de recursos: Es necesario mencionar que cada objeto necesita gestionar su propia energía y capacidad de almacenamiento (D. Guinard, 2010) .
   - La heterogeneidad: Es una de las principales dificultades ya que se necesita que todos los objetos conectados a la red hablen el mismo idioma, es decir que existan protocolos para que converjan todos los dispositivos y puedan comunicarse dentro de la red IoT (Michele Nitti, 2015).
   - Plug and Play: Tan pronto como un dispositivo se une a una red, debe registrarse y entrar en funcionamiento permitiendo que todos los objetos puedan comunicarse con el sin ningún inconveniente. En sistemas de IO (Entradas/Salidas), el desafío es hacer este proceso automático y dinámico que permita al objeto interactuar inmediatamente con otros objetos sin la necesidad de intervención humana (Michele Nitti, 2015).

b. Arquitecturas de IOT: Uno de los principales problemas en la IO es que su concepto es muy amplio de tal manera que no se propone ninguna arquitectura uniforme (Somayya Madakam, 2015). (Bagula, 2013) y (Department of Electrical and Electronic Engineering - University of Cagliari, 2015) plantean las siguientes arquitecturas:

- Arquitectura UIT. -De acuerdo con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la arquitectura de IoT consiste en (Bagula, 2013): Capa de Acceso, Capa de Red, Capa Inter-Lógica y Capa Aplicación
- Arquitectura de 3 capas. - La arquitectura IoT hace uso de la representación de un modelamiento en capas y se divide básicamente en 3 con funciones independiente (Department of Electrical and Electronic Engineering - University of Cagliari, 2015): Capa Física, Capa de Virtualización y Capa de Aplicación.

c. Protocolos de IoT: IoT en su capa de aplicación implementa dos nuevos protocolos MQTT y CoAP. El protocolo MQTT (este nombre proviene de MQ Telemetry Transport) es una implementación realmente ligera y sencilla de un protocolo de mensajería, su diseño se orienta a redes con bajo ancho de banda y altos niveles de latencia. Por otra parte, el protocolo de aplicación restringida (COAP) es un protocolo de transferencia especializado para el uso con nodos y redes restringidas, entiéndase por restringidas aquellas que presentan baja potencia y altos índices de pérdidas. CoAP está diseñado para interactuar fácilmente con HTTP para la integración con la Web y su operación se basa en el protocolo UDP de capa transporte del modelo TCP/IP (Jaffey, 2014).

3. Visión Artificial

La visión artificial o como la llaman otros autores visión por computador, se la define como la ciencia de programar un computador para procesar imágenes o videos e incluso entenderlos (Culjak & Abram, 2012). En (Bradski & Kaebler, 2008) explica que es la transformación de datos desde un fotograma o video cámara en lo que puede ser una decisión o una nueva representación. En la *Figura 1* se presenta paso a paso el proceso que se ejecuta en la visión artificial, indicando el orden de cada fase que va desde la adquisición de la imagen y el procesamiento hasta la ejecución de una acción en particular con los datos obtenidos.

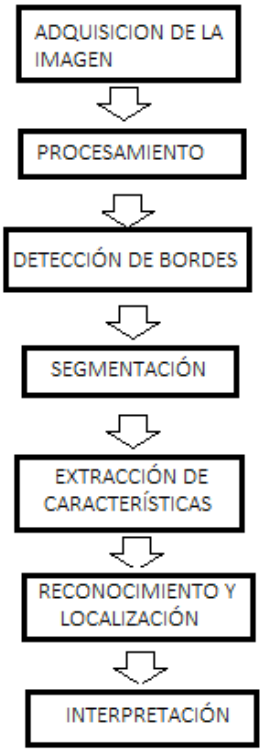


Figura 1. Fases del proceso de funcionamiento de la visión artificial al determinar una imagen

Dado que los usos de estas fases no dependen una de otra ni tampoco son obligatorias, influyen en el trabajo que se realice, explica (Álvarez, 2014).

En la fase de adquisición de la imagen, se indica en (Vélez, Moreno, Sánchez, & Sánchez, 2003) que es la captura y digitalización de la imagen de lo físico a lo digital. Una vez que la imagen se ha digitalizado, esta entra a un pre procesamiento el cual facilita etapas posteriores, eliminando partes de la imagen que no se toman en cuenta según (Álvarez, 2014). Una de las etapas importantes en este proceso es la detección de bordes el cual discrimina el fondo, separando los objetos de interés reduciendo así los datos indica (Shah, 1997). A continuación, se realiza una segmentación de la imagen, donde (Posada, 2015) indica que se puede seleccionar los pixeles en función de sus valores sean RGB o HSV. RGB, por sus siglas en inglés Red, Green, Blue, es un modelo de color que permite representar todos los colores basándose en los colores primarios de la luz. HSV por sus siglas en inglés Hue, Saturation, Value, es un modelo de color que se basa en componentes que son matiz, saturación y valor para combinar distintos colores. De esta manera el autor indica que es posible destacar un objeto de un determinado color. Por último (Álvarez, 2014) indica que el reconocimiento y localización es donde se clasifican los objetos con características comunes dentro del espacio 3D y restringir el espacio mediante técnicas de triangulación para que se seleccione una única imagen y esta pueda ser interpretada.

a. Procesamiento de la imagen: Dentro de la visión artificial es necesario un tratamiento de la imagen con la finalidad de facilitar procesos posteriores. Los propósitos a continuación explicados por (Cárdenas & Lerena, 2012) son:
   - Disminuir el ruido producido por los dispositivos electrónicos.
   - Mejorar la calidad de algunas partes de la imagen.
   - Resaltar las características de la imagen.
   - Transformar la imagen a otro espacio de representación.

b. Smoothing: Es el suavizado de la imagen, es muy utilizado en procesamiento de imagen para la reducción de ruido o ayudar a identificar los bordes de la imagen (Matuska, Hudec, & Miroslav, 2012).

c. Conversión a Escala de Grises: En el trabajo de (Sobrado, 2009) indica que la conversión de una imagen a escala de grises es el equivalente a la luminancia de la imagen. En este proceso es importante la intensidad de la luz para poder identificar los colores del espectro visible para el ojo humano. Mientras que (Cárdenas & Lerena, 2012) enfatiza que la conversión a escala de grises se realiza a través del uso de una media ponderada de los componentes de color de cada pixel. En la *Figura 2* se presenta un ejemplo de conversión a escala de grises previo al tratamiento de la imagen.

Figura 2. Imagen a colores e imagen en escala de grises

d. Morfología de la Imagen: Las transformaciones morfológicas básicas se llaman dilatación y la erosión, y se presentan en una amplia variedad de contextos, tales como la eliminación de ruido, el aislamiento de los elementos individuales, y elementos de unión diferentes en una imagen. La morfología también se puede utilizar para encontrar protuberancias o agujeros de intensidad en una imagen y para encontrar gradientes de imagen. Dilatación es una convolución de algunas imágenes (o región de una imagen) La erosión es la operación inversa la dilatación, esto lo indica (Bradski & Kaebler, 2008). En la *Figura 3* se puede observar una imagen a colores con su respectiva morfología.

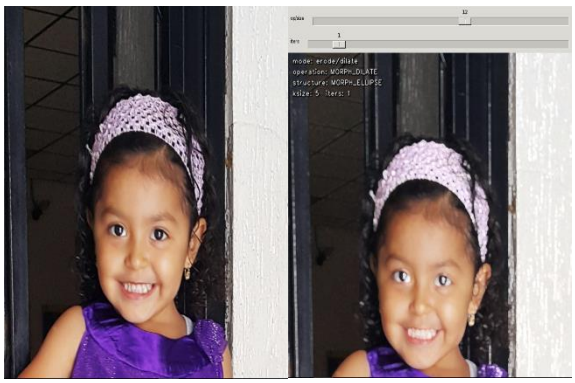


Figura 3. Imagen a colores y morfología de la imagen

e. Detección de Bordes: La detección de bordes es una importante etapa de pre-procesamiento de análisis de imágenes indica (Matuska, Hudec, & Miroslav, 2012). Inicialmente es necesario encontrar en toda la imagenla región de interés, para esto se implementa un algoritmo de detección de contornos, que encuentra los bordes de la imagen, buscando los cambios entre tonalidades, en este caso para la imagen binarizada son los bordes del cambio de color entre el blanco y el negro (Bradski & Kaebler, 2008) . Esto nos permite acceder a cada contorno no solo para visualizarlo sino para filtrarlo con diferentes criterios de clasificación según los atributos (Posada, 2015).

3.1 Detección facial con Visión Artificial

Los sistemas de detección facial han tomado fuerza en los últimos años debido a que son ampliamente utilizados en sistemas biométricos, el objetivo de estos sistemas es identificar a un individuo en una imagen digital de forma automática. La detección facial automática tuvo sus inicios en los años 60, el primer sistema semiautomático necesitaba que el administrador localice rasgos como ojos, cejas, nariz y boca en las imágenes para calcular distancias a determinados puntos de referencia que después serían analizados con datos almacenados en el sistema. Los próximos sistemas de detección usaron distintos marcadores y técnicas para mejorar el proceso de detección. En la actualidad existen sofisticadas herramientas que son aplicadas en distintas áreas sociales como entretenimiento, tarjetas inteligentes (pasaportes, licencias de conducir), seguridad de la información, aplicación de la ley y vigilancia, entre otros.

A pesar de que la detección facial es una tarea cotidiana para el ser humano, la implementación de un software no ha sido tarea fácil y ha requerido amplias investigaciones que mejoren el proceso. El desarrollo e implementación de los algoritmos requeridos para los sistemas de detección facial se han subdividido en áreas específicas: detección de rostro, seguimiento, alineamiento, extracción de rasgos, entrenamiento, identificación, clasificación, análisis de expresión facial, análisis en 2 y 3 dimensiones (García, 2009).

4. Aplicaciones de IoT y Visión Artificial

El campo de aplicaciones de IoT se ha extendido por diversas áreas de estudio, permitiendo usar esta tecnología para la mejora de recursos naturales y tecnológicos e incluso mejorar ciertas actividades de la vida cotidiana. A continuación, se citan algunos trabajos que vinculan IoT de la mano de la visión artificial.

a. Conteo de personas en edificios inteligentes: El trabajo realizado por (Paci , Brunelli, & Benini, 2014) nace de la necesidad de implementar un sistema de conteo de personas dentro de un edificio, aunque aún esta tecnología no ha tenido muchos casos de estudio, se presenta como un requisito para mejorar las condiciones medio ambientales y de seguridad dentro de lugares donde se tiene un alto número de ocupantes. Para los autores de este trabajo, su caso de estudio específico se enfoca dentro de las aulas de clases, donde buscan brindar un mayor bienestar a los estudiantes mientras permanecen en sus aulas, y a la vez generar un ahorro de energía, para esto han implementado dos tipos de nodos, el primer nodo es el de sensores y el segundo es el de las cámaras. El funcionamiento de este sistema se basa en un algoritmo para conteo de personas que se ejecuta mediante el uso de cámaras y visión artificial, además el sistema en su nodo de sensores monitorea condiciones ambientales como temperatura y humedad, todos los datos son transmitidos inalámbricamente a través de una Red Inalámbrica de Sensores mejor conocida como WSN. Los modelos de ocupación al ser combinados con los datos ambientales permiten un control automatizado de los sistemas de aire acondicionado generando a la par un ahorro de energía. Por otra parte, el conteo de personas mejora la seguridad dentro de estos edificios.

   Estudios similares fueron desarrollados por (Akkaya, Guvenc, Aygun, & Pala , 2015), en este caso se consideraron como punto de enfoque el creciente número de edificios inteligentes.

b. Parqueo inteligente y reducción de tráfico vehicular: Uno de los pilares del concepto Smart City es el manejo inteligente del tráfico vehicular, al respecto se han realizado numerosos trabajos tal como el realizado por (Baroffio, Bondi, Cesana, Redondi , & Tagliasacchi, 2015) la solución propuesta en este trabajo se centra en el uso de WSNs y una adaptación a esta tecnología empleando visón artificial que da como resultado una VSN (Visual Sensor Network). Un nodo VSN es aquel que está conectado a una cámara, por lo cual puede adquirir, procesar y capturar imágenes y videos de un lugar específico y trasmitir esa información a su nodo central. Esta tecnología es empleada para implementar un sistema de información para estacionamiento que localice los espacios disponibles y los difunda entre los conductores reduciendo significativamente el tráfico dentro de las zonas

congestionadas. El sistema está compuesto por una red inalámbrica de nodos con cámaras que ejecutan un algoritmo de detección de espacios disponibles, el procesamiento de las imágenes se realiza en el nodo central y desde aquí se transmite la información a los conductores, esta es una solución en tiempo real que vincula el concepto de visión artificial e IoT en beneficio de la población.

c. Sistemas de vigilancia y control en hogares: IoT requiere tan solo de una cámara y ciertos algoritmos para poder realizar el análisis de imágenes y videos, si bien es cierto las cámaras pueden ser de distintas características, pero lo que se requiere específicamente es capturar imágenes. Basados en esta idea (Ansari, A. N., Sedky, M., Sedky, M., & Tyagi, A., 2015) han implementado un sistema de vigilancia para domicilios usando una placa Raspberry Pi y una cámara web, con un costo de aproximadamente 60 dólares se pueden obtener imágenes en tiempo real, el sistema cuenta con un proceso de notificación mediante correo electrónico o mensajería que le indicará al propietario si dentro de su hogar se ha detectado un movimiento. El sistema se basa en el uso de scripts en Python y un almacenamiento de información en un servidor FTP externo. Esta solución es una alternativa sencilla y económica pero que brinda resultados eficientes como sistema de seguridad y se adapta al concepto de Smart Home.

d. Medicina: En el campo de la medicina mediante la visión artificial se puede clasificar o visualizar una imagen de mejor forma, con imágenes procesadas en alta resolución se puede operar desde lugares remotos sin tener la necesidad de que un doctor especializado deba trasladarse al lugar de la cirugía.

e. Inspección de Calidad: La inspección puede involucrar los sectores de la verificación de dimensiones y fallas de un elemento, las cámaras monitoreando la producción en serie de una fábrica, el control se lo realiza fuera o dentro de las instalaciones, este proceso puede ser revisado mediante cualquier dispositivo móvil con acceso a las direcciones públicas de la empresa, con el internet de las cosas se pueden activar o desactivar máquinas dando un mejor un control de la producción.

f. IoT con Visión Artificial en la Educación: Una alternativa para mejorar la educación desde los niveles iniciales hasta las aulas universitarias es involucrar a los estudiantes con las TICs, en el caso específico de IoT se pueden desarrollar herramientas didácticas de aprendizaje que cuenten con una plataforma en internet donde los resultados alcanzados por el estudiante puedan ser visualizados en tiempo real. El uso de visión artificial es una herramienta que podría implementarse para monitorear a los alumnos, determinando estados de ánimo, cansancio e incluso desconcentración que se pueden conocer al evaluar y reconocer ciertos

patrones fisiológicos de comportamiento Los beneficios de este tipo de monitoreo permiten determinar mediante modelos predictivos y algoritmos de Machine Learning (Aprendizaje de Máquina) cuáles son los periodos de tiempo y los horarios más adecuados para alcanzar un aprendizaje óptimo.

Dentro de este campo de investigación se desarrolló un sistema de monitoreo facial que brinda estimadores de desconcentración del estudiante universitario dentro del aula de clase, con la implementación de scripts de Python y empleando la herramienta OpenCV, se desarrolló un sistema capaz de determinar el número de bostezos y número de parpadeos de los estudiantes, debido a que estas variables son indicadores de cansancio y por ende se relacionan a la desconcentración, posterior a un análisis de datos se determinó si el estudiante está desconcentrado o no; estos datos son subidos a una plataforma en Internet, donde los docentes pueden conocer cómo interactúan sus alumnos durante los periodos académicos. Una vez realizada la fase de pruebas se determinó los horarios adecuados para que los estudiantes aprovechen de mejor manera sus procesos de enseñanza, mejorando el proceso de aprendizaje con el uso de estas herramientas tecnológicas (Alvear, 2016). En la *Figura 4* se presenta una prueba del monitoreo facial realizada con los estudiantes dentro del proceso de validación del sistema.

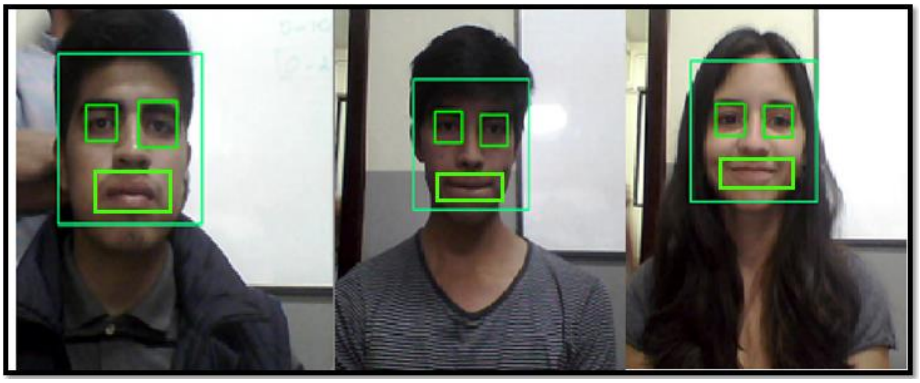


Figura 4. Prueba realizada con el sistema de monitoreo facial que emplea IoT y Visión Artificial

5. Discusión

El IoT pretende que los datos que se obtengan por medio de sensores puedan ser monitoreados de forma remota, de esta manera generar bases de datos con las cuales se pueda realizar estadísticas, tendencias, probabilidades, todo esto en función de comportamientos y actividades de personas o ambientes donde se puede aplicar sistemas electrónicos completos y obtener estos datos en busca de mejorar procesos o determinar puntos débiles.

El campo de la visión artificial en la actualidad va de la mano con la inteligencia artificial donde ya no solo se determinan ciertos parámetros de una imagen, sino que una computadora sea capaz de describir una imagen. Todo parte desde la base del procesamiento de imágenes que es

indispensable, de tal manera que la interpretación de una imagen o la captura de videos puedan ser procesados para mejor desempeño de un algoritmo.

6. Conclusiones

Con la revisión del estado del arte de IoT y Visión Artificial se han evidenciado que los estudios y avances tecnológicos en un futuro no muy lejano serán implementados a la vida cotidiana de las personas y se podrá convivir con ello. Estas tecnologías buscan brindar confort y dar facilidades en los diferentes ambientes en que residimos.

Con el abundante cambio e incremento de la tecnología con la finalidad de mejorar y facilitar la vida diaria del ser humano el concepto de IoT cada vez está más presente. La necesidad de siempre estar conectado a nuestros objetos permitirá innumerables aplicaciones de IoT en todos los dominios y campos de estudio que incluyen la medicina, industria, educación, vivienda, minería, hábitat, transporte, etc. Pero la aplicación de la IoT se ve limitada al no tener una arquitectura y estándares para que todas puedan interactuar entre sí, además el internet de las cosas requiere grandes esfuerzos para abordar y presentar soluciones para su seguridad y amenazas a la privacidad.

Los dispositivos electrónicos CCTV (Circuito Cerrado de Televisión) en los hogares e incluso cámaras de seguridad en las ciudades podrán utilizar la visión artificial para dejar de ser dispositivos limitados a grabar videos únicamente, al contrario, se contará con ayuda para detectar accidentes como enviar una alerta si un niño cae en una piscina y no simplemente grabarlo como seria lo común. Determinar en las calles accidentes automovilísticos y enviar alerta a las ambulancias y que este les informe de la situación y no esperar que alguien llame vía telefónica.

Bibliografía

Akkaya, K., Guvenc, I., Aygun, R., & Pala , N. (2015). IoT-based occupancy monitoring techniques for energy-efficient smart buildings. *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2015 IEEE*, (págs. 58-63). New Orleans, LA.

Álvarez, M. (2014). *Análisis, diseño e implementación de un sistema de control de ingreso de vehículos basado en visión artificial.* Cuenca.

Alvear, V. (2016). Sistema de Monitoreo Facial que brinde estimadores de desconcentración del estudiante universitario dentro del aula de clase a escala de laboratorio.

Ansari, A. N., Sedky, M., Sedky, M., & Tyagi, A. (2015). An Internet of things approach for motion detection using Raspberry Pi. *Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things, ICIT 2015*, (págs. 131-134).

B. Fabian and O. Gunther. (2007). “Distributed ons and its impact on privacy,. *IEEE International Conference*, 1223–1228.

Bagula, D. A. (2013). INTERNET OF THE THINGS (IoT):An introduction to wireless sensor. *ISAT Laboratory, University of Cape Town, South Africa* , 43. Obtenido de http://wireless.ictp.it/school_2013/Lectures/Internet-of-the-Things-Middleware-Introduction-ICTP-March2013-latest.pdf

Baroffio, L., Bondi, L., Cesana, M., Redondi , A., & Tagliasacchi, M. (2015). A Visual Sensor Network for Parking Lot Occupancy Detection in Smart Cities. *Internet of Things (WF-IoT), 2015 IEEE 2nd World Forum on*, (págs. 745 - 750). Milan.

Bradski, G., & Kaebler, A. (2008). *Learning OpenCV.* Cambridge: O’Reilly Media, Inc.

Cárdenas, M., & Lerena, O. (2012). *Automatizacion de un sistema de centrado de componentes utilizando visión artificial.* Cuenca: UPS.

Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., & Wang, H. (2014). A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 349-359.

CISCO. (2013). Education and the Internet of Everything. *Cisco Consulting Services and Cisco EMEAR Education Team*, 1-15.

Culjak, I., & Abram, D. (2012). A brief introduction to OpenCV. *MIPRO*, 1725-1730.

D. Guinard, V. T. (2010). Interacting with the soa-based internet of things: Discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. *Services Computing, IEEE*, 223 - 235 .

Department of Electrical and Electronic Engineering - University of Cagliari. (2015). The Virtual Object the Internet of Things. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 1-12.

García, M. E. (2009). *Diseño e implementación de una herramienta de detección facial.* México.

I. F. Akyildiz, J. X. (2007). “A survey of mobility management in next-generation all-ip-based wireless systems. *Wireless Communications, IEEE,*, 16 -28.

ITU. (2005). *ITU.ORG*. Obtenido de http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/

ITU. (2012). *ITU*. Obtenido de http://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/

Jaffey, T. (febrero de 2014). *Eclipse, Retrieved from MQTT and CoAP, IoT Protocols*. Obtenido de http://eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php

Matuska, S., Hudec, R., & Miroslav, B. (2012). The Comparison of CPU Time Consumption for Image Procession Algorithm in Matlab and OpenCV. *IEEE*, 75 - 78.

Michele Nitti, V. P. (2015). The Virtual Object as a Major Element of the Internet of Things: a Survey. *IEEE*, 1-12.

Paci , F., Brunelli, D., & Benini, L. (2014). 0, 1, 2, many — A classroom occupancy monitoring system for smart public buildings. *Design and Architectures for Signal and Image Processing (DASIP), 2014 Conference on*, (págs. 1-6). Madrid.

Posada, M. G. (2015). *Diseño de Prototipo de Recogida Automatizada de Bolos Mediante Brazo Robótico y Visión Artificial.* Oviedo.

Shah, M. (1997). *Fundamentals of Computer Vision.* Orlando: University of Central Florida.

Sobrado, E. (2009). *Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robótico.* Lima: Pontificia Universidad Católica de Perú.

Somayya Madakam, R. R. (Enero de 2015). *Internet of Things (IoT): A Literature.* Obtenido de http://file.scirp.org/pdf/JCC_2015052516013923.pdf

Vélez, J., Moreno, A., Sánchez, A., & Sánchez, J. (2003). *Visión por Computador.* Universidad Rey Juan Carlos.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, 22-32.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.257 - 272
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/02/10
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Análisis no supervisado aplicado a la detección de arritmias cardiacas

Unsupervised analysis applied to the detection cardiac arrhythmias

Mónica Moreno-Revelo[1], Sandra Patascoy-Botina[1], Andrés Pantoja-Buchelli[1], Javier Revelo-Fuelagán[1], José Rodríguez-Sotelo[2], Santiago Murillo-Rendón[2], Diego Peluffo-Ordoñez[3]

Abstract:
An arrhythmia is a pathology that consists on altering the heartbeat. Although, the 12-lead electrocardiogram allows evaluation of the electrical behavior from heart to determine certain pathologies, there are some arrhythmias that are difficult to detect with this type of electrocardiography. In this sense, it is necessary the use of the Holter monitor because it facilitates the records of the heart electrical activity for long periods of time, it is usually 24 up to 48 hours. Due to the extension of the records provided by the monitor, it is common to use computational systems to evaluate diagnostic and morphological features of the beats in order to determine if there is any type of abnormality. These computational systems can be based on supervised or unsupervised pattern recognition techniques, however considering that the first option requires a visual inspection about the large number of beats present in a Holter record, it is an arduous task, as well as it involves monetary costs. Consequently, throughout this paper we present the design of a complete system for the identification of arrhythmias in Holter records using unsupervised pattern recognition techniques. The proposed system involves stages of pre-processing of the signal, segmentation and characterization of beats, as well as feature selection and clustering. In this case, the technique k-means is used. These steps are applied within the framework of a segment-based methodology that improves the detection of minority classes. Additionally, initialization criteria are considered, which allow to enhance quality measures, especially sensitivity. As a result, it is determined that using k-means with the max-min initialization and a number of groups equal to 12, it is possible to obtain the best results, with values of: 99.36%, 91.31% and 99.16% for accuracy, sensitivity and specificity, respectively.

Keywords: Clustering; Segment-based methodology; Initialization; Quality measures.

Resumen:
Una arritmia es una patología que consiste en la alteración de los latidos del corazón. A pesar de que el electrocardiograma de 12 derivaciones permite evaluar el comportamiento eléctrico del corazón para determinar ciertas patologías, existen algunas arritmias que son de difícil detección con este tipo de electrocardiografía. Por tanto, es necesario recurrir al uso del monitor Holter, debido a que facilita el registro de la actividad eléctrica del corazón durante largos periodos de tiempo, por lo general de 24 a 48 horas. Debido a la extensión de los registros proporcionados por el monitor, es común acudir al uso de sistemas computacionales para evaluar características diagnósticas y morfológicas de los latidos con el fin de determinar si existe algún tipo de anormalidad. Estos sistemas computacionales pueden basarse en técnicas supervisadas o no supervisadas de reconocimiento de patrones, pero teniendo en cuenta que en la primera opción el realizar una inspección visual de la gran cantidad de latidos presentes en un registro Holter,

[1] Universidad de Nariño, Pasto–Colombia {morenmonica, carolina1001, ad_pantoja, javierrevelof}@udenar.edu.co
[2] Universidad autónoma de Manizales, Manizales–Colombia {jlrodriguez,smurillo}@autonoma.edu.co
[3] Universidad Técnica del Norte, Ibarra–Ecuador (dhpeluffo@utn.edu.ec)

resulta ser una ardua tarea, además de implicar costos monetarios, en este trabajo se presenta el diseño de un sistema completo para la identificación de arritmias en registros Holter usando técnicas no supervisadas de reconocimiento de patrones. El sistema propuesto involucra etapas de pre-procesamiento de la señal, segmentación y caracterización de latidos, además de selección de características y agrupamiento. En este caso, la técnica utilizada es *k*-medias. Dichas etapas se aplican dentro del marco de una metodología basada en segmentos que mejora la detección de clases minoritarias. Asimismo, se considera criterios de inicialización que permiten mejorar las medidas de desempeño, en especial, la sensibilidad. Como resultado, se determina que usar *k*-medias con el criterio de inicialización máx-mín y un número de grupos igual a 12, permite obtener los mejores resultados, siendo: 99,36 %, 91,31 % y 99,16 % para exactitud, sensibilidad y especificidad, respectivamente.

Palabras clave: Agrupamiento; Metodología por Segmentos, Inicialización, Medidas de desempeño.

1. Introduction

Cardiac arrhythmias are heart condition alterations mainly due to the change of the heart rate. This alteration is generated when the heart's electrical conduction system doesn't work properly (Khan. T. T, et al., 2015). Some types of arrhythmias are infrequent and transitory nature; therefore, their diagnosis isn't an easy task when it is performed with a standard electrocardiographic (ECG) test (12-lead test). For proper diagnosis of these types of arrhythmias, there is an ambulatory or Holter ECG test that evaluates the patient for long periods of time without interfering with daily activities of patients (Chung. E. K. Edward, 2013). However, given the length of Holter records (involving a large amount of heartbeat), it is necessary to use computer-aided systems to support the diagnosis.

For the analysis of Holter records is possible to use supervised or unsupervised techniques. But unlike the supervised analysis, in the unsupervised, it is not necessary to have a set of labeled data, as they use it (Aggarwal, et al., 2012) (Carreiras. C, et al., 2016). Thus, the unsupervised analysis is chosen with the objective of designing a system that allows identifying five different types of cardiac arrhythmias in Holter records.

In order to achieve the above objective, a set of morphological and spectral features of the heartbeats are used (Senapati, M. K, et al., 2014), which allow to improve the achieved clustering by the unsupervised method k –means. Besides, other stages as preprocessing and segmentation of heartbeats and the sensibility evaluation of the number of groups are involved (Chen. Y. H & Yu. S. N, 2012). These stages are applied over records from MIT/BIH's arrhythmia database, which includes 48 records with the arrhythmias recommended by the AAMI (Association for the advanced medical of instrumentation) such as: Normal beats (N), Supraventricular ectopic beat (S), Ventricular ectopic beat (V), Fusion beat (F), unknown beat class (Q) (Martis. R. J, et al., 2013).

The unsupervised method k-means, is one of the most well-known clustering methods, it was used for the first time by MacQueen in 1967 and from then, this technique has had many applications, not only for clustering cardiac signals but also another data and numerical signals such as

electroencephalographic signals (Wang. J., et al, 2015). Recently, Rodríguez, Gallego, Mora Orozco and Bustamante used k-means with the aim of clustering heartbeats of ventricular premature contraction (Rodríguez. C. A, et al., 2014).

Despite the existence of techniques that have been very helpful to achieve this objective, the design of a robust system to face problems such as signal noise, the morphological variability and the minority classes are still an open issue. Particularly in the case of the minority classes, that is to say, the presence of an abnormal heartbeat inside a record which contains a great quantity of normal heartbeats, its no identification could produce confusions as giving for heal a sick patient, doing that this not submit to an adequate treatment of the sickness. In this work, with the aim of contributing to the solution of present problem, the segment-bases approach for clustering is done, this methodology makes easy the detection of minority classes besides helps the reduction of the computational cost. Because of the method of clustering used (k-means) is sensitive to the initialization of centroids, methods of initialization as max-min and j-means (Ye. C, et al., 2012), (Bhateja. V, et al., 2013) are used, insuring that the algorithm of k-means doesn´t converge in a local minimum but in the global minimum, which improve the clustering. Besides a feature selection to eliminate redundant or irrelevant features that can affect the clustering of heartbeat is done. The segment-bases approach for clustering, the centoid initialization and the feature selection allow to obtain optimal results to classify five different types of arrhythmias with 91,31 %, 99,16 % and 99,36 % for sensibility, specificity and accuracy, respectively.

The rest of this paper is structured as follows: Section 2 describes the materials and methods used. Sections 3 and 4 present results and discussion respectively. Finally, some concluding remarks and future works are drawn in Section 5.

2. Methodology

Clustering is the assignment of a set of observations into subsets so that observations in the same cluster are considered similar with regard to employed features (Revathi. S & Nalini. D. T, 2013).

The experimental data set used in this work comes from the MIT/BIH arrhythmia database that also provides heartbeat labeling. In agreement (Moody. G. B, 1990) since 1975 the Beth Israel Deaconess Medical Center and MIT have supported research into arrhythmia analysis and related subjects. One of the first major products of that effort was the MIT-BIH Arrhythmia Database. The database explains with more detail in the section 2.1.

Figure 1 depicts the methodology proposed for Holter arrhythmia analysis that appraises the next stages: a) Preprocessing and segmentation, b) Features extraction, c) Feature selection, and d) Clustering.

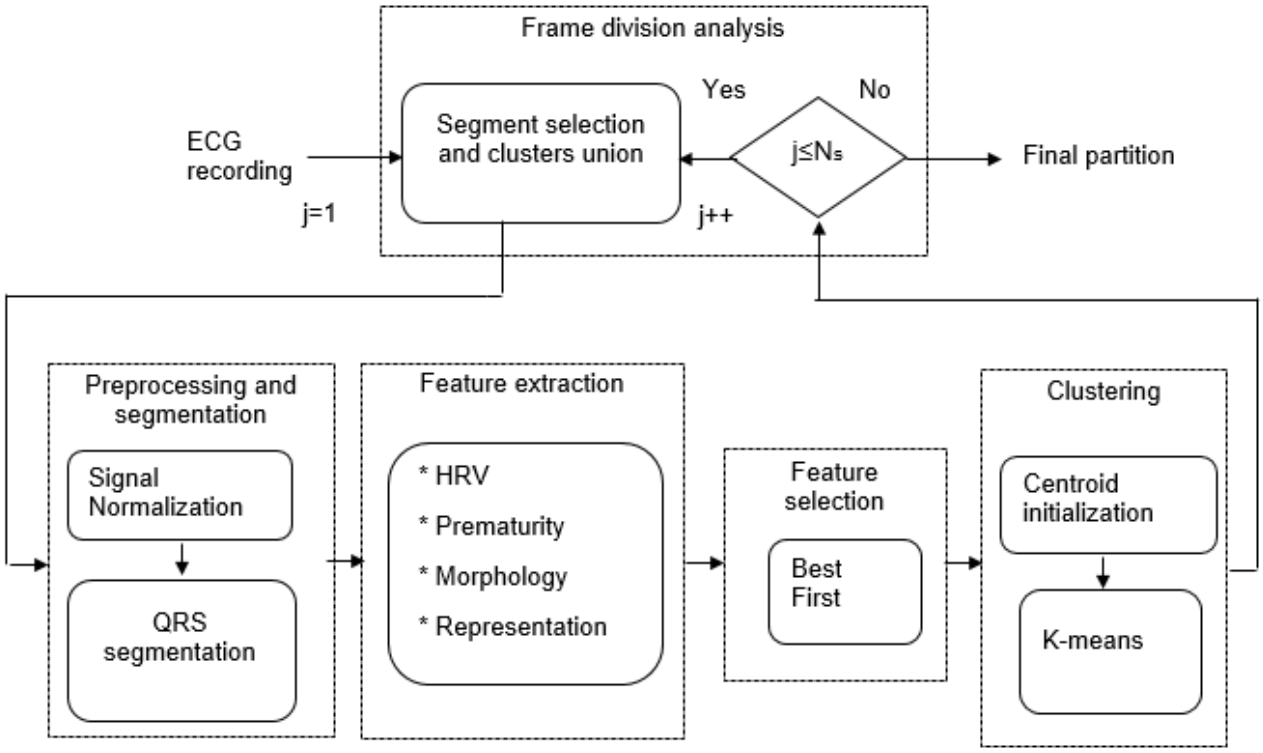


Figure 1. Block diagram of proposed unsupervised methodology for Holter monitoring of cardiac arrhythmias.

2.1. ECG signals

The MIT-BIH database contains 48 records each one being of about 30 minutes long, obtained from 48 subjects studied by the BIH arrhythmia laboratory between 1975 and 1979. Twenty-three records were chosen at random from a set of 4000 24-hour ambulatory ECG records collected from a mixed population of inpatients (about 60%) and outpatients (about 40%) at Boston's Beth Israel Hospital; the remaining 25 records were selected from the same set to include less common but clinically significant arrhythmias that would not be well-represented in a small random sample. The subjects were 25 men aged 32 to 89 years, and 23 women aged 23 to 89 years.

The records were digitized at 360 samples per second with 11-bit resolution over a 10 mV range. The signals were filtered to limit saturation and for anti-aliasing, using a passband from 0.1 to 100 Hz relative to real time, well beyond the lowest and highest frequencies recoverable from the records. The band pass-filtered signals were digitized at 360 Hz per signal relative to real time using hardware constructed at the MIT Biomedical Engineering Center and at the BIH Biomedical Engineering Laboratory.

Mostly, arrhythmias could be divided into two main types: the first one includes life–threatening heartbeat irregularities requiring immediate therapy with a defibrillator. The second one includes arrhythmias that are not imminently life–threatening, which are the only ones considered in this work.

In accordance to the AAMI standard, the following groups are of interest to be examined: normal–labeled heartbeat records (N), Supraventricular ectopic beat (S), Ventricular ectopic beat (V), Fusion beat (F), as well as unknown beat class (Q) is also taken into consideration (Martis. R. J, et al., 2013). It is important to note that the records analysis is performed one by one, and some records exhibit strong unbalanced number of observation per class. Namely, it can be found some records holding just one–two heartbeats of class F, a few of S (less than 10), whereas its number of normal heartbeats may be very huge (more than 3000).

2.2. Preprocessing and Segmentation

ECG signals are normalized regarding the maximum value in order to hold the signal amplitude ranged into [-1, 1], as well they were centered (set zero-mean):

$$s = s - \varphi(s), \tag{1}$$

$$s = \frac{s}{\max|s|}. \tag{2}$$

This preprocessing is assumed not to affect the separability among the underlying heartbeat groups (Byrne. C. L, 2014).

After QRS complex segmentation is performed from the location of the entries in the database MIT made in the R peak of each heartbeat, a fixed 200ms or 72 samples centered on each peak of the signal window is taken. The extraction of QRS complex is performed with equation 3.

$$\mathrm{QRS_j} = \left|y(p_j) - 0{,}0989 * Fs : y(p_j) + 0.0989 * Fs\right|, \tag{3}$$

Where p_j is the R-peak time location of the j-th heartbeat and Fs is the sampling (360 in the case of the database of MIT).

2.3. Feature extraction

Heartbeats characterization is performed and computed features are described in *Table 1*.

As a result, feature matrix $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{nxd}$ is obtained such that $\mathbf{X}=[\mathbf{x}_1, ..., \mathbf{x}_n] = [\mathbf{x}^{(1)}, ..., \mathbf{x}^{(d)}]$, being $\mathbf{x}_i$ the i-th heartbeat and $\mathbf{x}^{(j)}$ the j-th feature. The number of features d is 117.

An important issue in signal clustering is how to represent the time sequences to partition. This representation greatly influences the performance of the subsequent methods. In practice, these sequences are usually chosen by researchers based on previous similar works (Balachandran. A, et al., 2014) (Xie. X. Q, et al., 2015). After feature selection is done, considering that some features can be redundant or irrelevant (Chandrashekar. G, et al., 2014).

Table 1. Features set

Index	HRV and Prematury
$\mathbf{x}^{(1)}$	RR interval
$\mathbf{x}^{(2)}$	pre-RR-interval
$\mathbf{x}^{(3)}$	post-RR-interval
$\mathbf{x}^{(4)}$	Difference between RR and pre-RR intervals
$\mathbf{x}^{(5)}$	Difference between post-RR and RR-intervals
$\mathbf{x}^{(6)}$	$\mathbf{x}^{(6)} = (\frac{\mathbf{x}^{(3)}}{\mathbf{x}^{(1)}})^2 + (\frac{\mathbf{x}^{(2)}}{\mathbf{x}^{(1)}})^2 - \frac{1}{3}(\sum_{i=0}^{3}(\mathbf{x}^{(i)})^2 \log(\mathbf{x}^{(i)})^2)$
	Morphological and representation
$\mathbf{x}^{(7)}$	Energy of QRS complex
$\mathbf{x}^{(8)}$	Ratio max/min QRS
$\mathbf{x}^{(9)}$	Polarity of heartbeats
$\mathbf{x}^{(10)}$	Variance QRS
$\mathbf{x}^{(11)} \ldots \mathbf{x}^{(19)}$	First 9 Hermite coefficients
$\mathbf{x}^{(20)} \ldots \mathbf{x}^{(101)}$	Approximation and detail coefficients wavelet db4 2
$\mathbf{x}^{(102)} \ldots \mathbf{x}^{(111)}$	Variance and maximum values of the previous coefficients
$\mathbf{x}^{(112)} \ldots \mathbf{x}^{(117)}$	Ratio min/max QRS, approximation and detail

2.4. Feature selection

The feature selection is done through the method called "Best first", which consist on evaluating features individually, choosing them and ordaining them from the best to the worst, eliminating the less important as it is shown in (Kavitha. B, et al., 2010). Once features are selected, a reduced data matrix $\widehat{\mathbf{X}} \in \mathrm{R}^{\mathrm{nxp}}$ is accomplished, where p is the number of selected features, such that p<d.

2.5. Clustering

For further statements, let us to consider the notation **C** = {**C**1,…**C**k} the k-dimensional clusters set k-means as clustering method is used. In this method, a start partition associated to an initial center set is chosen and their center reassignments change, so they are done to generate new partitions,

they are assessed per each iteration. Then, once a center is moved, all reassignments are done and the objective function change due to this movement which is computed.

By assuming a data point $\mathbf{x}_i$ that belongs to $\mathbf{C}_l$ for the current solution is reassigned to another cluster $\mathbf{C}_j$, the center updating can be accomplished applying equation 4:

$$\mathbf{q}_l \leftarrow \frac{n_l q_l - x_i}{n_l - 1} \qquad \mathbf{q}_J \leftarrow \frac{n_J \mathbf{q}_J - \mathbf{x}_i}{n_J - 1}, \tag{4}$$

where $n_i = n_e(\mathbf{C}_i)$ y $l \neq j$.

Changes of the objective function value caused by reassignments are computed using equation 5:

$$v_{ij} = \frac{n_j}{n_j + 1}\left\|\mathbf{q}_j - \mathbf{x}_i\right\|^2 - \frac{n_l}{n_l - 1}\|\mathbf{q}_l - \mathbf{x}_i\|^2 \quad \in \mathbf{C}_l \ . \tag{5}$$

The previous equation is applied in case of MSSC objective function. In general, a specific objective function must be considered, so:

$$v_{ij} = \frac{n_j}{n_j+1} f\left(\mathbf{q}_j, x_i\right) - \frac{n_l}{n_l-1} f(\mathbf{q}_l, \mathbf{x}_i) \quad \mathbf{x}_i \in \mathbf{C}_l \tag{6}$$

Where f(.) is the objective function expression corresponding to some criterion or clustering method.

Such changes are computed for all possible reassignments. Then, if they are all non-negative $v_{ij} \geq 0$ the procedure stops with a partition corresponding to a local minimum. Otherwise, the reassignment reducing most the objective function value is performed and the procedure iterated (Rodriguez. C. A, et al., 2014).

K-means is tested with random initialization and with initialization max-min and j-means, in order to observe how the performance measures vary regarding different values of number of groups(k), particularly, experiments with k = 5,8,10,12 are performed. Proofs with other moral values of k can be realized, however, the minimal number of k (5) is established considering that to classify 5 types of arrhythmias, while the maximum number of k (12) is established in such a way that a cardiologist's visual inspection is not difficult. Between other parameters used in k-means, they are the distance and the maximum number of repetitions, in the realized experiments 2000 repetitions and Euclidean distance are used (Anderberg. M. R, 2014).

2.6. Centroid initialization

Once a group number is fixed, centers for each subset are initialized by using j–means and max-min algorithms (Celebi. M. E, et al., 2013). For further statements, let us consider the notation the partition set of **X**, standing for the j-th center, k as the number of groups, and j ∈ {1, ..., k}.

2.6.1. J-means algorithm.

J-means algorithm consist of updating the centers trough local assessment of objective function, only taking into consideration a certain region around the centers instead of all data space (Aldahdooh. R. T & Ashour. W, 2013). This algorithm works as follows. After a random initialization, every point $\mathbf{p}_i$ out of a sphere of radius ∈ with center $\mathbf{q}_j$ is considered as a centroid candidate. Thus, $\mathbf{p}_i$ replaces a current centroid $\mathbf{q}_j$. After updating, the objective function value is calculated using only the new centroid. Then, the original objective function (previous value f^1) is compared with the new objective function value (previous value f^2). Thereby, if $f^1 > f^2$, the process stops; otherwise the algorithm starts again using the same initial partition and its updates. Parameter ∈ is chosen in such way that no intersections among spheres occurs, for that reason is a necessary condition that:

$$\varepsilon < \frac{1}{2}\min\left\|\mathbf{q}_j - \mathbf{q}_i\right\|, i \neq j. \quad (7)$$

2.6.2. Max-min algorithm.

The aim of max-min algorithm is to find, into the set of data **X**, the k elements that are further away from each other, improving the number of necessary groups to classify the classes and the convergence value (Tzortzis. G & Likas. A, 2014). This algorithm starts with a random data point of **X** as the first center and the rest of them are chosen following a strategy, in which selected element in the i-th iteration is the element that is the further one among the i-1 chosen elements. Then, the first center $\mathbf{q}_1$ is chosen randomly from **X**, and the second center $\mathbf{q}_2$ is the data point which presents the maximum distance between $\mathbf{q}_1$ and remaining points $\{\mathbf{X}\text{-}\mathbf{q}_1\}$. Since these centers, the rest of them can be obtained using the máx-mín criterion, as equation 8.

$$(\mathbf{x}_l) = \max_{\mathbf{x}_i \in \{\mathbf{X}-\mathbf{Q}\}}\left\{\min_{\mathbf{q}_j \in \mathbf{Q}}\left\|\mathbf{x}_i - \mathbf{q}_j\right\|^2\right\}, \quad j = 1,..,k. \quad (8)$$

Where ‖.‖ represents the Euclidian norm.

2.7. Segment clustering

Further decreasing of computational load can be reached if sectioning the whole input data into segments for localized processing. An intuitive way to carry out this kind of analysis consist of dividing into Ns subsets, called segments, and later applying a clustering procedure for each segment (Rodríguez-Sotelo. J, et al., 2015).. Segmented data set is denoted by $\mathbf{X} = \{\mathbf{X_1}, \ldots, \mathbf{X}_{Ns}\}$ where $\mathbf{X}_l$ is a $nlxp$ matrix corresponding to the i-th segment:

$$nl = \text{round}(n/N_s), \quad (9)$$

$\text{round}(.)$ represents the entire nearest to its argument.

At the beginning, a proper length of segment to be clustered is estimated. Selection of proper number of localized clustering segments is constrained by following restrictions: twice of number of features must exceed the amount of observations per segment, equation 10:

$$nl \geq 2p, \tag{10}$$

The union of groups of intuitive way is made, that is joining the set of a segment with the set of the following segment to go over the total quantity of segments.

2.8. Quality measures

This work takes advantage of the fact that studied database is labeled and supervised measures are accomplished. Thus, performance outcomes can be contrasted with another similar works. In particular, each assembled cluster can be split into two classes: one holding the majority heartbeats regarding to the class of interest (MC), and another having the minority beatings being of different classes (OC). Therefore, the following quantitative measures are defined:

- True Positive (TP), heartbeats MC classified correctly.
- True negative (TN), heartbeats OC, classified correctly.
- False positive (FP), heartbeats OC classified as MC.
- False negative (FN), heartbeats MC classified as OC.

After computing the above described measures, the following values of sensitivity (Se), specificity (Sp), and clustering performance (Acc) are estimated as equations 11, 12 and 13.

$$\mathrm{Se} = \frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP} + \mathrm{FN}} \times 100 \tag{11}$$

$$\mathrm{Sp} = \frac{\mathrm{TN}}{\mathrm{TN} + \mathrm{FP}} \times 100 \tag{12}$$

$$\mathrm{Acc} = \frac{\mathrm{TN} + \mathrm{TP}}{\mathrm{TN} + \mathrm{TP} + \mathrm{FN} + \mathrm{FP}} \tag{13}$$

The sensibility and specificity quantify the proportion of beatings from OC and the MC that are correctly classified, respectively.

3. Results

Regarding results, in Figures 2, 3 and 4 we could realize that the performance measures vary regarding different values, particularly, experiments with k=5, 8, 10, 12 are performed. *Figure 2* shows the obtained results using k-means with random initialization, the figure 3 shows the obtained results using k-means with j-means initialization and the figure 4 shows the results obtained using k-means with max-min initialization.

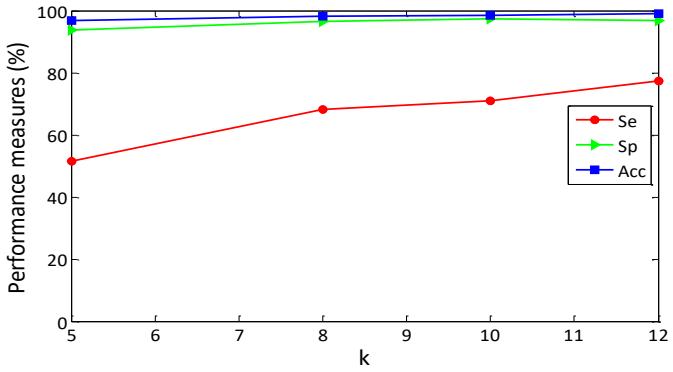


Figure 2. Performance measures using k-means and random initialization

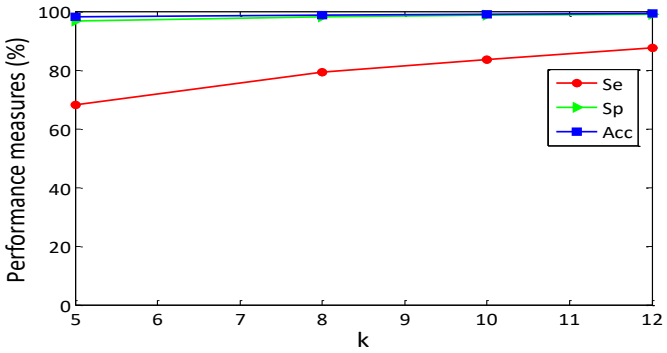


Figure 3. Performance measures using k-means and j-means initialization

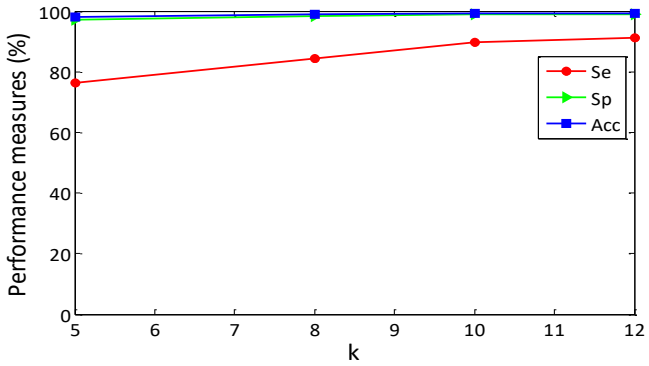


Figure 4. Performance measures using k-means and max-min initialization

Clustering results for specificity and accuracy are maintained almost constant as k varying and the sensitivity grows as k increases. For random initialization with k=5, sensitivity has an approximate value of 51% and when k increases to 12 markedly improves obtaining an approximate value of sensitivity of 76% .For k-means and J -means initialization with k=5, a sensitivity value of 68% is obtained and setting k=12 sensitivity up to a value of 87% and finally for k-means and max-min initialization with k=5, a sensitivity value of 76% is obtained and setting k = 12 sensitivity up to a value of 91%. In other words, the max-min initialization is the one with the best results in performance measures which improve with increasing k.

The quantity of heartbeats and the performance measures for each type of arrhythmias are shown in the tables 2, 3 and 4. The results presented in the tables are obtained with a k equal to 12, because

this presents the best performance. Only some records are included in the tables, but the averages presented for each type of arrhythmias and the total average are the obtained on all the records. It is important to quote that accuracy value is not given for arrhythmia type, the value is given for each record. The records 114 and 202 are included because they contain all types of arrhythmias, this last record has a total of 2142 heartbeats and 117 features, with the feature selection, the features are reduced to 10.

Table 2. Clustering results using k-means, random initialization and k=12

'Record'		'N'	'S'	'V'	'F'	'Q'	'Acc'
100	'Beats'	2236	33	1	0	0	98,68
	'Se'	99,87	13,33	0			
	'Sp'	12,9	99,87	100			
105	'Beats'	2523	0	41	0	123	99,96
	'Se'	100		100		99,08	
	'Sp'	99,31		100		100	
114	'Beats'	1817	12	43	4	10	99,89
	'Se'	100	100	97,5	50	100	
	'Sp'	96,49	100	100	100	100	
122	'Beats'	2473	0	0	0	2	100
	'Se'	100				100	
	'Sp'	100				100	
202	'Beats'	2058	55	19	1	9	99,86
	'Se'	99,95	100	88,24	0	100	
	'Sp'	97,4	99,95	100	100	100	
234	'Beats'	2697	50	3	0	10	100
	'Se'	100	100	100		100	
	'Sp'	100	100	100		100	
Average Se (%)		99,97	78,33	77,15	25	99,82	
Average Sp (%)		84,35	99,955	100	100	100	

Table 3. Clustering results using k-means, j-means initialization and k=12

'Record'		'N'	'S'	'V'	'F'	'Q'	'Acc'
100	'Beats'	2236	33	1	0	0	
	'Se'	100	53,13	100			
	'Sp'	54,55	100	100			99,34
105	'Beats'	2523	0	41	0	123	
	'Se'	100		97,56		99,17	
	'Sp'	98,77		100		100	99,93
114	'Beats'	1817	12	43	4	10	
	'Se'	100	100	100	100	100	
	'Sp'	100	100	100	100	100	100
122	'Beats'	2473	0	0	0	2	
	'Se'	100				100	
	'Sp'	100				100	100
202	'Beats'	2058	55	19	1	9	
	'Se'	99,95	96,3	100	100	100	
	'Sp'	97,56	99,95	100	100	100	98,85
234	'Beats'	2697	50	3	0	10	
	'Se'	100	100	100		100	
	'Sp'	100	100	100		100	100
Average Se(%)		99,01	70,1	99,07	75,6	94,94	
Average Sp(%)		96,33	98,74	99,9	99,95	99,87	

Table 4. Clustering results using k-means, máx-mín initialization and k=12

'Record'		'N'	'S'	'V'	'F'	'Q'	'Acc'
100	'Beats'	2236	33	1	0	0	
	'Se'	99,96	75,76	100			
	'Sp'	76,47	99,96	100			99,6
105	'Beats'	2523	0	41	0	123	
	'Se'	100		97,56		100	
	'Sp'	99,39		100		100	99,96
114	'Beats'	1817	12	43	4	10	
	'Se'	100	100	100	100	100	
	'Sp'	100	100	100	100	100	100
122	'Beats'	2473	0	0	0	2	
	'Se'	100				100	
	'Sp'	100				100	100
202	'Beats'	2058	55	19	1	9	
	'Se'	99,95	100	100	100	100	
	'Sp'	100	99,95	100	100	100	99,95
234	'Beats'	2697	50	3	0	10	
	'Se'	100	100	100		100	
	'Sp'	100	100	100		100	100
Average Se (%)		98,92	68,81	99,41	91,86	97,54	
Average Sp (%)		97,28	98,7	99,97	99,97	99,88	

The obtained average in all the records of the data base for random initialization (table 1) is 76,05%, 96,86% y 99,73% for sensibility, specificity and accuracy, respectively. In the case of j-means initialization (table 2) the clustering results are 87,74 %, 98,96 % and 99,01 % for sensibility, specificity and accuracy, respectively. Finally, with the max-min intialization the best results are obtained, as they are 91,31 %, 99,16 % and 99,36 % for sensibility, specificity and accuracy, respectively.

Bearing in mind the presented results in the tables, to use the max-min initialization allow to obtain better performance measures if we use another type of initialization, can be confirmed.

It can also be concluded that the presented average of the performance measures for the heartbeats of type F had more variation, they presented a low performance measures with the random initialization, which increase notoriously with j-means initialization and furthermore with max-min initialization.

The record 202 had 1 heartbeat type F that was not correctly identified with the random initialization but with the max-min initialization and j-means initialization, a sensibility of 100 % was obtained.

4. Discussion

Rodriguez, Gallego, Mora, Orozco and Bustamante (Rodriguez. C. A, et al., 2014), obtained results with k-means of 97,41% and 92,94% for specificity and sensibility, respectively, although sensibility is higher than the obtained with the methodology used in this work , it is pertinent to explain that the mentioned work takes into account only the ventricular contraction heartbeats.

Juie D. Peshave and Rajveer Shastri (Peshave. J. D & Shastri.R, 2014), obtain similar results with the 85 % for sensibility when clustering 3 different types of arrhythmias using Thresholding's method.

N.Jannah and S. Hadjiloucas (Jannah. N & S. Hadjiloucas. S, 2014) use supervised classifiers as the Support Vector Machine (MSVM) and Complex Support Vector Machine (CSVM) and obtain results in terms of 94 % for accuracy, thus the supervised methods result be also useful in the process of arrhythmias identification.

Using unsupervised methods and especially k-means allow to achieve good results. But unlike from other works, in this paper, the segment-bases approach for clustering, the centroid initialization and the feature selection together are used, contributing to the detection of minority classes, reduction of the computational cost and convergence of the k-means algorithm, with the aim to realize a better heartbeat clustering and facilitate the cardiologist gives a diagnosis of a pathology checking 2 or 3 prototype heartbeats of a group and give to the patients trustworthy and timely results of the medical exams , with the aim that the patients get an adequate treatment. The main contributions of this work are the segment-bases approach for clustering, the feature selection and the centroid initialization.

5. Conclusions and Recommendations

In this paper, a whole clustering system for grouping heartbeats from ambulatory ECG signals is presented. The clustering scheme is performed within a segment-based approach, which improves the detection of minority-class arrhythmias. Throughout this paper, the sensitivity of clusters number is evaluated as well as demonstrate the benefit of the center initialization on the clustering performance.

Performance measures as specificity and the percentage of classification do not present enough variability of a method to another one to difference from the sensibility, that is to say, the measure that enables to establish a comparison between methods. This is due to that there are records in which minority classes are shown, it does that the detection of the pathological heartbeats be more difficult.

Exploring with others techniques of unsupervised analysis that allow improving the arrhythmias detection in Holter records is advisable and also the time of processed will decrease.

As future study, besides exploring others unsupervised methods, others data bases of patients with arrhythmias could be studied.

Bibliography

Aggarwal, C. C., & Zhai, C. (2012). Mining text data. Springer Science & Business Media.

Aldahdooh, R. T., & Ashour, W. (2013). DIMK-means" Distance-based Initialization Method for K-means Clustering Algorithm". International Journal of Intelligent Systems and Applications, 5(2), 41.

Anderberg, M. R. (2014). Cluster analysis for applications: probability and mathematical statistics: a series of monographs and textbooks (Vol. 19). Academic press.

Balachandran, A., Ganesan, M., & Sumesh, E. P. (2014, March). Daubechies algorithm for highly accurate ECG feature extraction. In Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), 2014 International Conference on (pp. 1-5). IEEE.

Bhateja, V., Urooj, S., Mehrotra, R., Verma, R., Lay-Ekuakille, A., & Verma, V. D. (2013, December). A composite wavelets and morphology approach for ECG noise filtering. In International Conference on Pattern Recognition and Machine Intelligence (pp. 361-366). Springer Berlin Heidelberg.

Byrne, C. L. (2014). Signal Processing: a mathematical approach. CRC Press.

Carreiras, C., Lourenço, A., Aidos, H., da Silva, H. P., & Fred, A. L. (2016). Unsupervised Analysis of Morphological ECG Features for Attention Detection. In Computational Intelligence (pp. 437-453). Springer International Publishing.

Celebi, M. E., Kingravi, H. A., & Vela, P. A. (2013). A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm. Expert Systems with Applications, 40(1), 200-210.

Chandrashekar, G., & Sahin, F. (2014). A survey on feature selection methods. Computers & Electrical Engineering, 40(1), 16-28.

Chen, Y. H., & Yu, S. N. (2012). Selection of effective features for ECG beat recognition based on nonlinear correlations. Artificial intelligence in medicine, 54(1), 43-52.

Chung, E. K. (2013). Ambulatory electrocardiography: holter monitor electrocardiography. Springer Science & Business Media.

Jannah, N., & Hadjiloucas, S. (2015, December). Detection of ECG arrhythmia conditions using CSVM and MSVM classifiers. In 2015 IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB) (pp. 1-2). IEEE.

Kavitha, B., Karthikeyan, S., & Chitra, B. (2010). Efficient intrusion detection with reduced dimension using data mining classification methods and their performance comparison. In Information Processing and Management (pp. 96-101). Springer Berlin Heidelberg.

Khan, T. T., Sultana, N., Reza, R. B., & Mostafa, R. (2015, May). ECG feature extraction in temporal domain and detection of various heart conditions. In Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), 2015 International Conference on (pp. 1-6). IEEE.

Martis, R. J., Acharya, U. R., & Min, L. C. (2013). ECG beat classification using PCA, LDA, ICA and discrete wavelet transform. Biomedical Signal Processing and Control, 8(5), 437-448.

Peshave, J. D., & Shastri, R. (2014, April). Feature extraction of ECG signal. In Communications and Signal Processing (ICCSP), 2014 International Conference on (pp. 1864-1868). IEEE.

Revathi, S., & Nalini, D. T. (2013). Performance comparison of various clustering algorithm. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 3(2).

Rodriguez, C. A., Gallego, J. H., Mora, I. D., Orozco-Duque, A., & Bustamante, J. (2014). Clasificación de latidos de contracción ventricular prematura basados en métodos de aprendizaje no supervisado. Revista Ingeniería Biomédica, 8(15), 51-58.

Rodríguez-Sotelo, J. L., Peluffo-Ordoñez, D., & Dominguez, G. C. (2015, January). Segment clustering methodology for unsupervised Holter recordings analysis. In Tenth International Symposium on Medical Information Processing and Analysis (pp. 92870M-92870M). International Society for Optics and Photonics.

Senapati, M. K., Senapati, M., & Maka, S. (2014, August). Cardiac Arrhythmia Classification of ECG Signal Using Morphology and Heart Beat Rate. In Advances in Computing and Communications (ICACC), 2014 Fourth International Conference on (pp. 60-63). IEEE.

Tzortzis, G., & Likas, A. (2014). The MinMax k-Means clustering algorithm. Pattern Recognition, 47(7), 2505-2516.

Wang, J., Wang, J., Ke, Q., Zeng, G., & Li, S. (2015). Fast approximate k-means via cluster closures. In Multimedia Data Mining and Analytics (pp. 373-395). Springer International Publishing.

Xie, X. Q., Wang, L. H., Jiang, S. Y., Lee, S. Y., Lin, K. H., Wang, X. K., ... & Deng, N. (2015, October). An ECG feature extraction with wavelet algorithm for personal healthcare. In Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB), 2015 International Symposium on (pp. 128-131). IEEE.

Ye, C., Kumar, B. V., & Coimbra, M. T. (2012). Heartbeat classification using morphological and dynamic features of ECG signals. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 59(10), 2930-2941.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.273 - 286
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Análisis de Certificados SSL/TLS gratuitos y su implementación como Mecanismo de seguridad en Servidores de Aplicación.

(Analysis of free SSL/TLS Certificates and their implementation as Security Mechanism in Application Servers.)

Mario E. Cueva Hurtado [1], Diego Javier Alvarado Sarango[2]

Resumen:
La seguridad en la capa de aplicación (SSL), proporciona la confidencialidad, integridad y autenticidad de los datos, entre dos aplicaciones que se comunican entre sí. El presente artículo es el resultado de haber implementado certificados SSL / TLS gratuitos en servidores de aplicación, determinando las características relevantes que debe tener un certificado SSL/TLS, la Autoridad certificadora que lo emita. Se realiza un análisis de las vulnerabilidades en los servidores web y se establece un canal cifrado de comunicaciones con el fin de proteger de ataques como hombre en el medio, phising y mantener la integridad de la información que es trasmitida entre el cliente y servidor.

Palabras clave: Seguridad; Certificados SSL/TLS; Autoridad Certificadora; Vulnerabilidades; X.509; Kali Linux.

Abstract:
Security in the application layer (SSL), provides the confidentiality, integrity, and authenticity of the data, between two applications that communicate with each other. This article is the result of having implemented Free SSL / TLS Certificates in application servers, determining the relevant characteristics that must have a SSL/TLS certificate, the Certifying Authority generate it. A vulnerability analysis is developed in application servers and encrypted communications channel is established to protect against attacks such as man in the middle, phishing and maintaining the integrity of information that is transmitted between the client and server

Keywords: Security; Certificates SSL/TLS; Certifying Authority; Vulnerabilities; X.509; Kali Linux.

1. Introducción

Hoy en día, Internet es la herramienta más utilizada a nivel mundial debido al auge de los servicios y transacciones virtuales; se han desarrollado e incorporado una serie de elementos que contribuyen directamente al control de la seguridad, destacándose en ella los mecanismos seguros que son implementados para proveer confidencialidad, integridad y disponibilidad, brindando confianza a los clientes que se benefician de estos servicios. No obstante, las amenazas son cada vez más frecuentes y complejas, en este sentido los distintos protocolos establecidos para las transacciones web están basados en tecnología antigua, a pesar de haberse

[1] Universidad Nacional de Loja, Loja – Ecuador (mecueva@unl.edu.ec)
[2] Universidad Nacional de Loja, Loja – Ecuador (djalvarados@unl.edu.ec)

actualizado con mejoras, es posible que, estas no aporten el resultado esperado en toda la dimensión requerida de seguridad y sea necesario estudiar nuevos mecanismos de seguridad para las transacciones web.

Para este nivel de necesidades, el protocolo de seguridad TLS (Transport Layer Security) y SSL (Secure Socket Layer) son protocolos criptográficos que operan por debajo de la capa de aplicación y proporcionan cifrado de extremo a extremo a la seguridad de un gran número de protocolos, incluidos HTTPS, IMAPS, SMTP (Ordean & Giurgiu, 2010)(Durumeric & Kasten, 2013). SSL creada por la empresa Netscape Communication, famosa por la creación del navegador web Netscape Navigator, logró con SSL estandarizar un procedimiento para proporcionar comunicaciones seguras en la red (Clark & Van Oorschot, 2013)(Mu, Zhang, Du, & Lin, 2011).

Actualmente no existen estudios previos registrados en bases de datos científicas sobre el uso de certificados digitales gratuitos, por lo que el aporte del presente artículo es de gran importancia. Se plantea la siguiente pregunta investigativa ¿Se puede asegurar la trasmisión de datos con los certificados digitales SSL/TLS gratuitos en los servidores de aplicación?, para dar respuesta a esta pregunta se realiza las siguientes fases: Una fase de **análisis** en el que se determina las amenazas más comunes en los servidores de aplicación utilizando la herramienta Kali Linux v2.0; se determina las características técnicas que debe cumplir un certificado digital para que sea seguro, en base a una revisión sistemática basada en la metodología propuesta por Bárbara Kitchenham; y una fase de **implementación** en el que se selecciona e implementa el certificado digital basado en una comparativa de las Autoridades Certificadoras (AC) gratuitas con los parámetros obtenidos en la fase de análisis. Se comprueba las vulnerabilidades contrarrestadas. El escenario de prueba son los servidores de aplicación de la Universidad Nacional de Loja.

2. Metodología

En todo proceso investigativo es necesario seguir una secuencia de fases que conforman una metodología con el fin de ejecutar ordenadamente los procesos, la cual se compone de tres fases: análisis, diseño e implementación.

Análisis.- Se utiliza la herramienta Kali Linux v2.0 con el fin de analizar, explotar y comprobar las amenazas existentes dentro del servidor de aplicaciones, también se realiza una revisión sistemática de literatura aplicando la metodología propuesta de acuerdo el artículo de Bárbara Kitchenham (Kitchenham, 2004), con el fin de obtener las características relevantes que debe cumplir un certificado digital para que sea seguro.

Diseño.- Se selecciona la Autoridad Certificadora (AC) a utilizar, esta debe cumplir con aspectos claves como las características relevantes que debe cumplir un certificado digital para que sea seguro y cubrir las vulnerabilidades encontradas.

Implementación. - Se realiza la implementación de la seguridad con los certificados emitidos por la AC propuesta en la fase de diseño, realizando las pruebas respectivas de las mismas.

3. Resultados

Se presenta el proceso para determinar las vulnerabilidades, características y selección de la AC con el fin de implementar los certificados digitales SSL/TLS gratuitos.

3.1. Análisis de Vulnerabilidades

En esta sección se determina las debilidades contra los servidores de aplicación, analizando sobre un servidor web público de pruebas brindado por la Universidad Nacional de Loja, cumpliendo la estructura mostrada en la *Figura 1*.

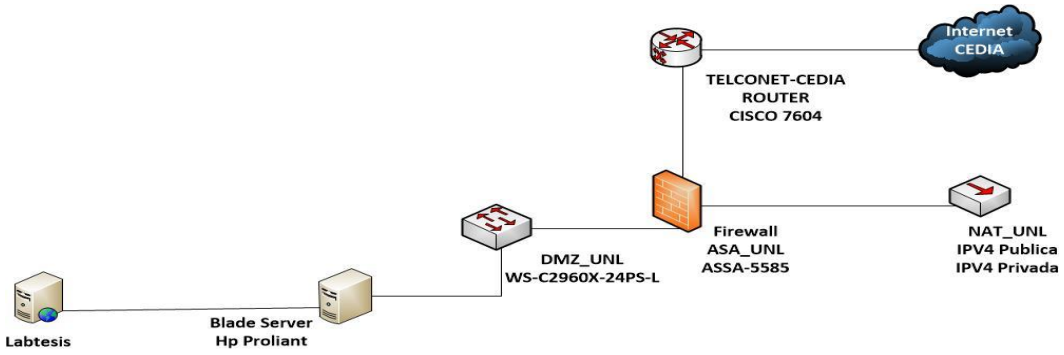


Figura 1. Infraestructura de Red

3.1.1. Selección de Herramienta

Para poder realizar la explotación de amenazas, es necesario tomar las herramientas adecuadas, como se muestra en la *Tabla 1*, la cual se realiza una comparativa especificando criterios como la fácil instalación de la herramienta, el tipo de licencia, el tipo de función que cumple y el consumo de recursos que realiza.

Tabla 1. Comparación de Herramientas para la Explotación de las amenazas

Caracteristicas	Nmap	Nessus	OpenVas	MetasPloit	Kali Linux 2.0	WireShark
Fácil instalación	✓	✓		✓	✓	✓
Interfaz gráfica amigable		✓	✓		✓	✓
Licencia	Libre	Pagada	Libre	Libre	Libre	Libre
Multiplaforma		✓	✓			✓
Detecta vulnerabilidades		✓	✓	✓	✓	

Explota vulnerabilidades	✓			✓	✓	✓
Fácil Configuración	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Permite incorporar herramientas extras					✓	
Consumo de recursos	Medio	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio

Se selecciona Kali Linux v2.0, como una de las mejoras herramientas para la fase de explotación, debido a sus principales características en la que permite incorporar herramientas extras para detectar y explotar las amenazas.

3.1.2. Explotación de vulnerabilidades

Se procede a determinar las vulnerabilidades en los servidores de aplicación mediante la herramienta Kali Linux v2.0.

3.1.2.1. Hombre en el medio (Main he Middle)

Según el autor M. Markovi en su artículo de investigación define “Main the middle como su nombre indica, un ataque de hombre en el medio ocurre cuando alguien entre dos usuarios intercepta la comunicación supervisando, capturando y controlando la comunicación sin el conocimiento de los usuarios. Por ejemplo, un agresor puede negociar claves de cifrado con ambos usuarios y cada usuario envía datos cifrados al atacante, que puede descifrar los datos con las claves públicas y privadas” (Markovi, 2007). La mayoría de los protocolos criptográficos incluyen alguna forma de autentificación de extremos específicamente para prevenir los ataques Hombre en el medio (siglas en ingles MITM), un ejemplo sería SSL que autentica al servidor web mediante una autoridad de certificación de confianza.

Para la ejecución del ataque y comprobar la existencia de la amenaza en la capa de transporte, se la realiza mediante las herramientas como SslStrip, que permite filtrar todo acceso por HTTPS a HTTP y Ettercap en la que se intercepta los paquetes seleccionando la tarjeta de red, ambas vienen integradas en Kali Linux v2.0.

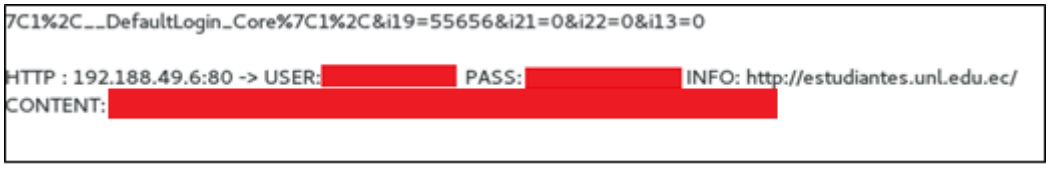


Figura 2. Captura de Credenciales

Como se puede notar en la *Figura 2*, se captura el usuario y clave del sitio “estudiantes.unl.edu.ec”, mostrando una gran deficiencia en el cifrado de datos al inicio de sesión de usuarios.

3.1.2.2. Denegación de Servicios (DoS)

De acuerdo al autor M. Markovi en su artículo de investigación define “A diferencia de muchos otros ataques, la denegación de servicio proviene de enviar datos no validos a aplicaciones o redes, haciendo que las aplicaciones y los servicios cierren o funcionen de manera anormal”(Markovi, 2007). Enviar una inundación de paquetes se lo realiza hasta que se apague un servicio o una red entera bloqueando el tráfico, lo que resulta en una pérdida de accesos a los recursos de red por parte de los usuarios.

Mediante la utilización de la herramienta Slowloris que permite implementar en Kali Linux 2.0, se comprueba que existen servidores públicos que son vulnerables a este tipo de ataques. Es necesario simular el ataque con múltiples peticiones hacia un servicio, para ello utilizamos la herramienta Slowloris el mismo que permite enviar múltiples peticiones por milisegundo, simulando a varias peticiones en diferentes maquinas; el tiempo que colapsa el servidor dependerá del hardware computacional del servidor. La *Figura 3* muestra el sitio web colapsado.

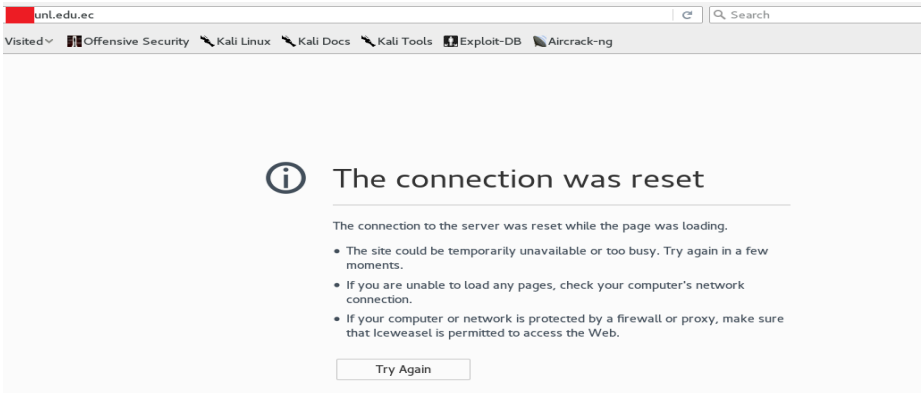


Figura 3. Resultado del Ataque DoS

3.1.2.3. Suplantación de Identidad (Phishing)

En su artículo el autor M. P. Subías define “El Phishing es el término utilizado para un fraude en Internet, consistente en falsificar una página web y lanzar un e-mail masivo para ver si el receptor de ese correo “pica” y entra en la página falsa creyendo que es la original y suministra sus credenciales de acceso, las cuales caen inmediatamente en manos del defraudador” (Subías, n.d.).

Para la ejecución y validación de la amenaza, se utiliza la herramienta Setoolkit y Ettercap que vienen integradas en Kali Linux 2.0 y provee mayor eficacia en la intercepción de las peticiones DNS.

Figura 4. Menú de Setoolkit

Para la ejecución del ataque Phishing, se inicia presentando algunas opciones de diferentes métodos con los que cuenta la herramienta Setoolkit, como se muestra en la *Figura 4*, seleccionando la opción de Ataques de Ingeniería Social, que es el grupo al cual pertenece el ataque denominado Phishing. Luego seleccionamos la opcion 2 (Website Attack Vectors), y opción 3 (Credential Harvester Attack Method), con ello obtenemos el siguiente resultado mostrado en la figura 5.

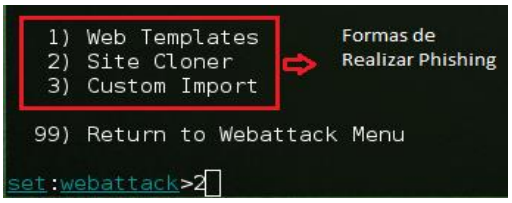


Figura 5. Tipo de ataque de Ingeniería Social

Seleccionamos “Site Cloner” e ingresamos la dirección IP de la maquina atacante y el dominio al cual se va a clonar, como se muestra en la *Figura 6*.

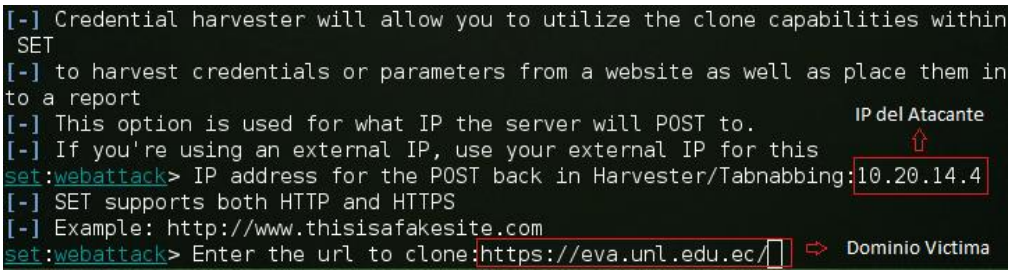


Figura 6. Clonación de Pagina Web

Para poder apreciar la web clonada, se introduce en el navegador la dirección IP de la maquina atacante, esta página clonada es idéntica a la real, por lo que es más sencillo engañar a los usuarios que desconozcan de este tipo de ataques, como se muestra en la *Figura 7*.

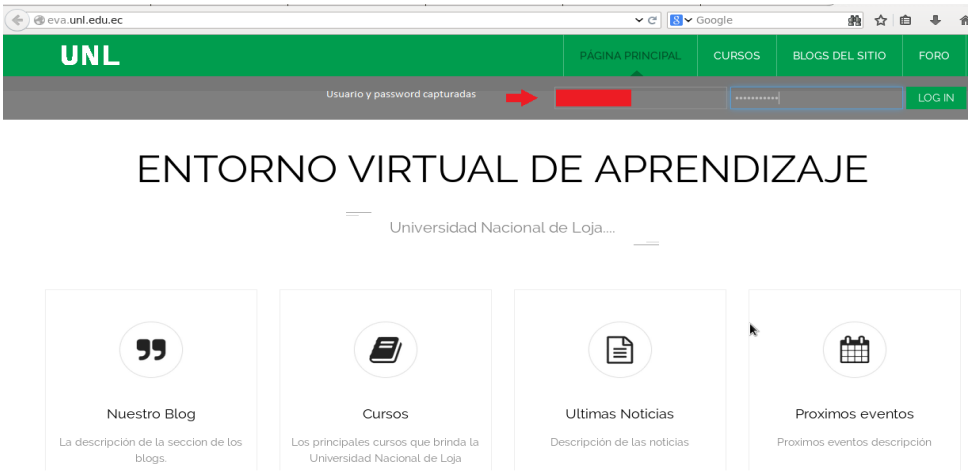


Figura 7. Resultado del Ataque Phishing

Después de haber clonado el sitio web, para hacerlo más efectivo, con la herramienta Ettercap se atrapa las solicitudes DNS de la víctima y así cuando se realice la conexión al dominio, se redirigirá la petición a la página falsa que es similar a la real.

Todo intento de inicio de sesión será capturado por la maquina atacante. Es una manera sencilla de ejecutar esta vulnerabilidad ya que el usuario puede ser fácilmente engañado, capturando sus credenciales de acceso a los sitios web de la institución.

3.1.2.4. Descifrado de Contraseñas

El autor M. Markovi en su artículo de investigación define “El acceso a los recursos de una computadora y de la red se determina mediante un nombre de usuario y una contraseña. Las versiones anteriores de los componentes del sistema operativo no siempre protegían la información de identidad, ya que se pasaba a través de la red para su validación. Esto podría permitir que un espía determine un nombre de usuario y una contraseña válidos y los use para obtener acceso a la red haciéndose pasar por un usuario válido”(Markovi, 2007). Los ataques de descifrado de contraseñas por lo general se realizan bajo protocolos como SSH, HTTP, FTP o sobre todo acceso que tenga un sistema de login de usuarios que no se ha controlado en base al número de intentos por acceder a su sistema web.

Para la ejecución de esta técnica, se requiere de un diccionario de datos teniendo en cuenta las combinaciones de letras, números y signos, con el fin de efectuar las combinaciones necesarias, hasta descubrir usuarios y contraseñas correctas.

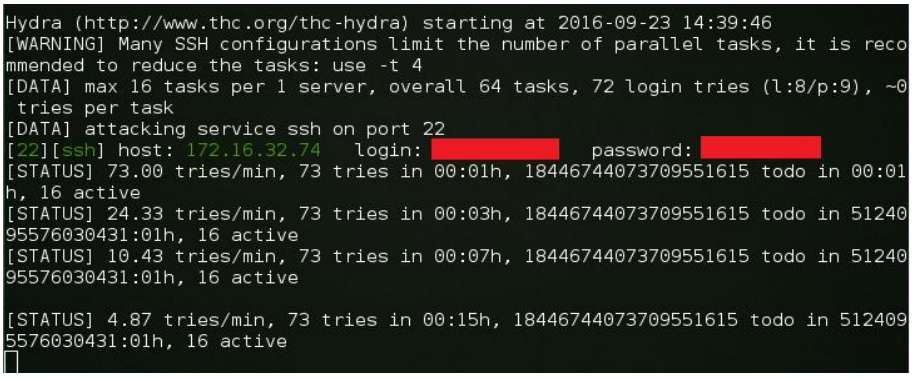


Figura 8. Ataque con Hydra

Como se puede observar en la *Figura 8* el ataque fue efectivo capturando claves con nombre de usuario de un servidor como se muestra en la línea de color verde, también se puede visualizar varios intentos fallidos obtenidos al momento que la herramienta Hydra comienza a ejecutar múltiples combinaciones como se muestra en las líneas de color Gris. Se recalca que el tiempo de duración del ataque puede tomar varias horas o días.

3.2. Selección del Certificado Digital

Se realiza la comparativa de las autoridades certificadoras gratuitas como Let's Encrypt, Start SSL y GoDaddy, las características técnicas tomadas en cuenta para la comparativa se obtuvo de dos partes, la primera se basó en una revisión sistemática de literatura SRL (Enrique et al., n.d.) y la segunda se basó en proformas realizadas a las autoridades certificadoras de paga como: Symantec, GeoTrust y Thawte.

Tabla 2. Comparativa de Autoridades Certificadoras Gratuitas

AUTORIDADES CERTIFICADORAS **CARACTERÍSTICAS TECNICAS**	**Let's Encrypt**	**Start SSL**	**GoDaddy**
Utilizan el algoritmo Sha-2	✓	✓	✓
Robustez del cifrado de 2048 bits	✓	✓	✓
Usa el certificado estándar X.509	✓	✓	✓
Utiliza los certificados SSL/TLS V1.2	✓	✓	✓
Confianza del 99% (Son reconocidos como certificados validos en la mayoría de los navegadores web como Chrome, Firefox, Opera, Safari, entre otros)	✓	✓	✓
Tipo de Validación	DV (Validación de Dominio)	DV (Validación de Dominio)	DV (Validación de Dominio)
Tiempo de emisión	5 – 15 minutos	5 – 15 minutos	1 – 2 Días

			laborales
Reemisión	Ilimitada	Limitada	Limitada
Soporte para dispositivos móviles	✓		
Multiplicidad	✓		
Tiempo de valides de licencia	3 meses	1 año	1 año
Se puede actualizar constantemente	✓		
Precio por año	$ 0	$ 0	$ 0

Como se puede observar en la *Tabla 2*, de acuerdo a las características analizadas se deduce que la autoridad certificadora idónea para la utilización de los certificados digitales gratuitos es con la AC de Let's Encrypt ya que permite actualizar constantemente sus certificados a diferencia de las otras dos AC que solo ofrecen sus certificados gratuitos por un año, además la multiplicidad que ofrece nos provee la facilidad de generar un certificado multi-dominio y por último es soportada por dispositivos móviles.

3.3. Implementación de seguridad con los certificados digitales

3.3.1. Proceso para la implementación de los certificados SSL/TLS en los servidores web

Se especifica los pasos para la implementación de los certificados digitales en servidores de aplicación apache y nginx.

3.3.1.1. Proceso de implementación de certificados SSL/TLS en Apache

Para implementar los certificados digitales en servidor web sobre apache, se realiza los siguientes pasos:

1. Actualizar el sistema operativo existen con el fin de evitar conflictos de incompatibilidad por desactualización de paquetes por parte del servidor.
2. Instalar la extensión Git con el fin de clonar desde un repositorio web el proyecto Let's Encrypt hacia el servidor web local.
3. Clonar desde el repositorio web, el cliente de Let's Encrypt con la extensión Git
4. Generar los certificados digitales con el nombre del dominio y correo del administrador del sitio web.
5. Generar un grupo Diffie-Hellman seguro para el intercambio de claves.
6. Configurar el servidor web para implementar los certificados digitales SSL/TLS.
7. Comprobar la validez del certificado digital SSL/TLS

3.3.1.2. Proceso de implementación de certificados SSL/TLS en Nginx

Para implementar los certificados digitales en servidor web sobre nginx, se realiza los siguientes pasos:

1. Actualizar el sistema operativo existen con el fin de evitar conflictos de incompatibilidad por desactualización de paquetes por parte del servidor.
2. Instalar la extensión Git con el fin de clonar desde un repositorio web el proyecto Let's Encrypt hacia el servidor web local.
3. Implementar el cliente certbot para la implementación de los certificados digitales con Let's Encrypt.
4. Generar los certificados digitales con el nombre del dominio y correo del administrador del sitio web con el cliente certbot.
5. Configurar el servidor web para implementar los certificados digitales SSL/TLS.
6. Configurar la seguridad adicional para robustecer el servidor web
7. Comprobar la validez del certificado digital SSL/TLS

Después de haber implementado los certificados digitales SSL/TLS, se obtiene el candado verde de navegación por HTTPS, como se muestra en la siguiente *Figura 9*.

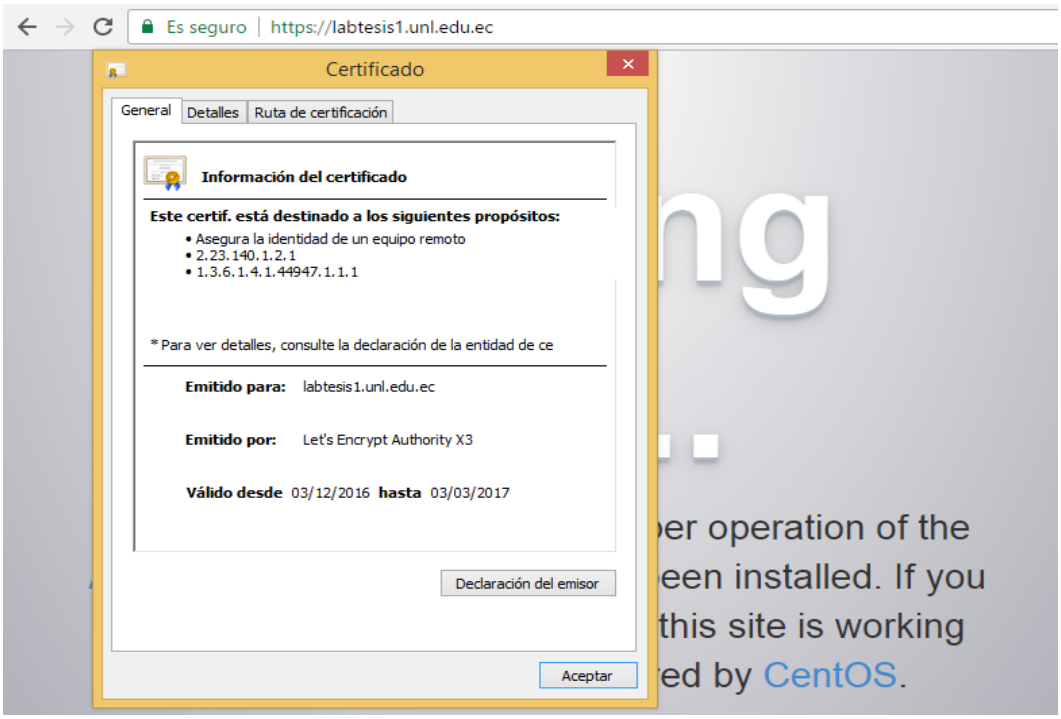


Figura 9. Sitio con Certificado digital SSL/TLS

Como se puede observar el certificado digital SSL/TLS del sitio muestra los siguientes aspectos como: el nombre del sitio web para el cual fue emitido, la AC que lo emite y por último la fecha de validez del certificado, que por lo general es de tres meses hasta su próxima actualización.

4. Discusión

Los resultados obtenidos dan respuesta positiva a la pregunta principal de investigación demostrando que se puede brindar seguridad con la utilización de los certificados digitales gratuitos emitidos por Let's Encrypt. Si bien los límites del presente artículo investigativo abarcan hasta una pequeña parte en el ámbito de seguridad de la información en la web, con la configuración e implementación de los certificados digitales SSL/TLS, se comprueba que se puede dar comunicación segura con certificados gratuitos, contrarrestando ataques como hombre en el medio (main the middle), phishing.

Cabe indicar que el ataque DoS y de Fuerza bruta no fue contrarrestado, para esto se requiere certificados de paga como Symantec.

Como se mencionó en la sección de resultados los ataques que han sido explotados se contrastan con varios autores, donde definen los ataques más comunes que se realizan en los servidores de aplicación, como se muestra en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Lista de Amenazas Vigentes en la Capa de Transporte

Autor	**Título de Trabajo**	**Amenazas Vigentes**
Marcelo Alejandro Riffo	"Vulnerabilidades de las Redes Tcp/Ip y principales mecanismos de seguridad" (Riffo, 2008)	• Lectura de paquetes enviados por el Cliente y Servidor • Suplantación de Servidor o Cliente • Alteración de paquetes
M. Markovi	"Data Protection Techniques, Cryptographic Protocols and PKI Systems in Modern Computer Networks" (Markovi, 2007)	• Ataque de Denegación de Servicios (DOS) • Ataque por contraseñas (Fuerza Bruta) • Ataque de Hombre en el Medio (Man-in-the-Middle) • Ataque por análisis de tráfico (Sniffer)
Feiyan Mu Jiafen Zhang, Jing Du and Jie Lin	"Application of the Secure Transport SSL Protocol in Network Communication" (Mu et al., 2011)	• interceptación no autorizada de datos
David Wagner, Bruce Schneier	"Analysis of the SSL 3.0 protocol" (Wagner & Schneier, 1996)	• Espionaje • Análisis de Trafico

Las amenazas coinciden con las explotadas mostradas en las figuras 2, 3, 7 y 8 como las más comunes existentes dentro la comunicación cliente-servidor.

De los resultados obtenidos en esta investigación, se puede deducir que para la selección del certificado digital, como lo indica la tabla 2, debe tener las siguientes características: robustez de Cifrado no menos de 2048 bits, utilizar el estándar X.509; y los certificados

SSL/TLS V 1.2 mejorado. Aunque algunos sitios web públicos utilizan el algoritmo SHA-1, en la actualidad este algoritmo es obsoleto por sus bits de cifrado que son menores a 160 bits, mientras que el algoritmo SHA-2 ofrece sus bits de cifrado mayor a 160.

Otro aspecto a considerar en la selección del certificado digital es el tipo de validación y puede ser: tipo OV (validación de la Organización), DV (Validación de Dominio) y EV (Validación Extendida). Siendo los certificados SSL EV de mejor seguridad por su tipo de tipo de emisión y validación que va más allá del dominio sino también de la organización, brindado más confianza al usuario que visita el sitio web.

Para la utilización de los Certificados SSL/TLS y su correcto funcionamiento se deben considerar aspectos como: los servidores deben admitir las extensión SSL/TLS; validar la fecha de caducidad de los certificados digitales; ser emitido por una AC de confianza para ser reconocida por los navegadores web y evitar que se revoquen los certificados por un aviso de incompatibilidad de dominio.

5. Conclusiones

- Al usar certificados SSL/TLS contrarresta ataques como: hombre en el medio (main in the middle), phishing, ataques con diccionario de datos, lo que proporciona a los servidores confidencialidad, integridad y autenticidad. SSL/TLS no ofrece seguridad en la disponibilidad del Servidor especialmente en ataques Negación de servicio (DoS) y otros ataques como XSS Cross-Site Scripting, backdoor.
- Para tener una conexión segura con los certificados digitales SSL/TLS se deben cumplir con ciertas características claves que son: primero utilizar el algoritmo SHA-2 e ignorar algoritmos de cifrado obsoletos, segundo la robustez del cifrado no tiene que ser menor a 2048 bits, como tercera característica se tiene que utilizar el certificado estándar X.509, como cuarta característica se debe utilizar las versiones más actuales de los certificados digitales que son SSL/TLS V 1.2.
- Al realizar la comparativa de ACs, se determina la utilización de los certificados SSL/TLS emitidos por Let’s Encrypt, los cuales cumplen con los requerimientos de seguridad como son: el SHA-2, 2048 bits de cifrado, certificado estándar X.509 y SSL/TLS V 1.2 y permite la actualización del certificado cada tres meses, siendo una de las mayores ventajas con respecto a otras Entidades certificadoras.
- Una desventaja de los certificados gratuitos con Let’s Encrypt es que solo emite un tipo de archivo con extensión DV mientras que otras ACs de paga como Thawte, emiten sus certificados con los tres tipos de extensiones como son OV, DV y EV, ofreciendo mejor seguridad al validar la organización(OV) y el dominio(DV).

- Para la implementación de los certificados digitales en el servidor Apache se utilizó el cliente de Let's Encrypt por defecto, mientras que para Nginx se utilizó el cliente certbot que permitió implementar estos certificados.

6. Recomendaciones

- Utilizar los certificados digitales SSL/TLS gratuitos emitidos por Let's Encrypt para plataformas que manejan informaciones educativas, PYMEs, y empresas que posean servidores en zonas DMZ y no cuenten con un presupuesto para la adquisición certificados digitales pagados.
- Se debe realizar un script en el servidor de aplicación para facilitar la actualización de los certificados digitales SSL/TLS gratuitos emitidos por Let's Encrypt.
- Ampliar el estudio con el fin de testear de manera más profunda a los certificados digitales SSL/TLS gratuitos, en ambientes de empresas bancarias.

Bibliografía

Clark, J., & Van Oorschot, P. C. (2013). SoK: SSL and HTTPS: Revisiting past challenges and evaluating certificate trust model enhancements. *Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy*, 511–525. http://doi.org/10.1109/SP.2013.41

Durumeric, Z., & Kasten, J. (2013). Analysis of the HTTPS certificate ecosystem. *Proceedings of the 2013 …*, 291–304. http://doi.org/10.1145/2504730.2504755

Enrique, M., Hurtado, C., Javier, D., Sarango, A., Gustavo, R., Díaz, F., & Torres, H. (n.d.). Revisión Sistemática de Certificados SSL / TLS como Mecanismo de Seguridad en Servidores de Aplicación. http://doi.org/978-9978-389-32-4

Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, *33*(TR/SE-0401), 28. http://doi.org/10.1.1.122.3308

Markovi, M. (2007). Data protection techniques, cryptographic protocols and PKI systems in modern computer networks. *2007 IWSSIP and EC-SIPMCS - Proc. 2007 14th Int. Workshop on Systems, Signals and Image Processing, and 6th EURASIP Conf. Focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services*, 13–24. http://doi.org/10.1109/IWSSIP.2007.4381086

Mu, F., Zhang, J., Du, J., & Lin, J. (2011). Application of the Secure Transport SSL Protocol in Network Communication. http://doi.org/10.1109/ISCID.2011.25

Ordean, M., & Giurgiu, M. (2010). Implementation of a security layer for the SSL/TLS protocol.

2010 9th International Symposium on Electronics and Telecommunications, ISETC'10 - Conference Proceedings, 209–212. http://doi.org/10.1109/ISETC.2010.5679350

Riffo, M. A. (2008). Vulnerabilidades de las Redes TCP/IP y Principales Mecanismos de Seguridad. *In Vitro*, *3*(2), 1–23. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov.myaccess.library.utoronto.ca/pubmed/11720961

Subías, M. P. (n.d.). Desfalcos por "Phishing," 25–26. Retrieved from http://www.notariado.org/liferay/c/document_library/get_file?folderId=12092&name=DLFE-10678.pdf

Wagner, D., & Schneier, B. (1996). Analysis of the SSL 3.0 protocol. *Proceedings of the 2nd Conference on Proceedings of the Second USENIX Workshop on Electronic Commerce - Volume 2*, 4. http://doi.org/10.1.1.29.9990

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.287 - 299
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Integración Vertical en plantas industriales utilizando OPC UA e IEC-61499

(Vertical Integration in factories using OPC-UA and IEC-61499)

Marcelo V García[1,2], Edurne Irisarri[1], Federico Pérez[1]

Resumen:
Los sistemas de automatización industrial actuales tienen que hacer frente a los desafíos que surgen al tratar de solventar las necesidades generadas por un mercado altamente competitivo. Estos desafíos conducen a la utilización de una nueva generación de sistemas de automatización basado en los denominados Sistemas Ciber-físicos de Producción (CPPS – Cyber-Physical Production Systems). Los CPPSs permiten la integración de sistemas de adquisición de datos tradicionales y novedosos sistemas de procesamiento inteligente de datos, con el objetivo de extraer información y mejorar el rendimiento general del sistema productivo. Para lograrlo, es necesario cerrar la brecha existente entre los sistemas de control y los niveles superiores. Este trabajo propone una aproximación en el desarrollo de aplicaciones bajo la norma IEC-61499 para el intercambio de datos entre el nivel de planta y las capas más altas empleando el estándar industrial OPC UA. La comunicación OPC UA ofrece mecanismos de suscripción que permiten una integración eficiente y sencilla de recursos que residen en diferentes dispositivos. Además, dado que la arquitectura OPC UA permite su ejecución incluso en dispositivos empotrados, la propuesta aportada en este artículo permite adquirir información de la planta empleando arquitecturas de bajo coste, al mismo tiempo que se posibilita un diseño basado en componentes con independencia de la plataforma hardware utilizada.

Palabras clave: Industria 4.0, OPC-UA, Modbus/TCP, Sistemas de Producción Ciber-Físicos (CPPS)

Abstract:
Nowadays, factory automation systems need to cope with very different challenges, such as big data, IIoT, etc. These challenges lead to a new generation of automation systems based on the so-called Cyber-Physical Production Systems (CPPS) globally connected to form a flexible System of Cyber-Physical Production Systems (SoCPPS). CPPSs require acquisition of production system data and smart data processing to extract information to improve the overall system performance. To achieve that it is needed to bridge the gap between the control systems and higher layers. This paper discusses an approach to use the IEC 61499 function block concept to exchange data between plant floor and higher layers using an industrial standard like OPC UA. The OPC UA server offers subscription mechanisms, making possible the integration of several resources residing at plant floor. As it runs on embedded devices, the proposal makes possible to acquire plant information at low cost, enabling at the same time, a component-based design for enterprise plant floor control with independence of the hardware platform used

Keywords: Cyber-Physical Production Systems (CPPS), Industry 4.0, OPC-UA, Modbus/TCP

[1] Basque Country University, Bilbao – España (mgarcia294@ehu.es)
[2] Universidad Técnica de Ambato, Ambato – Ecuador (mv.garcia@uta.edu.ec)

1. Introducción

En el contexto tradicional de la automatización industrial, el control a nivel de planta se realiza de forma autónoma tomando las decisiones en función de datos locales. Convencionalmente, este tipo de sistemas trabajan de manera centralizada y no emplean tecnologías como protocolos de red basados en mensajes, sensores y actuadores inteligentes o nuevas tecnologías de producción (Takahashi, Yokoyama, & Morikawa, n.d.). Por otro lado, recientes tecnologías de comunicación e información como la computación en la nube (Cloud Computing), Internet de las cosas (IoT) o el procesamiento inteligente de datos (Big Data), requieren nuevos servicios de los sistemas de control de planta para lograr un rendimiento óptimo y eficiente (Windt, Böse, & Philipp, 2008).

Actualmente, con el fin de alcanzar los objetivos que propone el concepto de la Industria 4.0, es necesaria la cooperación de todos los participantes a través de las empresas que participan en el ciclo de vida del producto y, para ello, es de vital importancia la existencia de enlaces de comunicación seguros. En este contexto, la norma OPC UA (IEC 62541) es una alternativa prometedora ya que cuenta con una arquitectura orientada a servicios, que ofrece seguridad de datos y modelos de información fiables. Por desgracia, y quizás debido a la falta de disponibilidad de plataformas adecuadas, esta tecnología aún no se encuentra ampliamente utilizada a nivel industrial (Jazdi, 2014).

Adicionalmente, entre el conjunto de iniciativas que componen la Industria 4.0, una de las tecnologías de mayor proyección es la que se basa en la integración de sistemas ciber-físicos (CPPS). Los CPPS están compuestos por dispositivos de control con amplias capacidades de computación y comunicación, tanto local como remota. El IoT Industrial (IIoT) define un conjunto de tecnologías para el acceso remoto al sistema productivo. Englobada en este contexto, la comunicación “Máquina a Máquina” (M2M) define el intercambio de datos entre dos equipos remotos. Una de las ventajas de emplear comunicaciones M2M es que permite implementar máquinas sensibles al contexto (Scheuermann, Verclas, & Bruegge, 2015).

A nivel industrial, la norma IEC 61499 proporciona un marco para el desarrollo de aplicaciones basado en modelos para sistemas de control distribuido. El uso de esta norma en la Industria 4.0 permitirá modelar y desarrollar componentes software y hardware para sistemas de control distribuido (Kleanthis Thramboulidis, 2009), esto, posibilitará desarrollar CPPS para implementar los objetivos de la Industria 4.0

Con lo anteriormente expuesto, este trabajo presenta una plataforma CPPS de bajo coste y una arquitectura OPC UA fácilmente configurable, con servidores y clientes gestionados desde aplicaciones IEC 61499. Por lo tanto, la propuesta presentada permite una plataforma de software fácilmente desplegable destinada a recoger datos de proceso que posibilita la integración de dispositivos empleando comunicaciones M2M. El enfoque se centra en la integración de protocolos de redes industriales tradicionales como Modbus/TCP para acceso a datos de proceso

desde servidores OPC UA. Con el fin de unir la brecha entre la tecnología y las fábricas reales, se propone una plataforma de bajo coste en el que es posible crear prototipos de CPPS que emplean comunicaciones OPC UA.

La estructura del artículo es la siguiente: la sección 2 se presenta los trabajos relacionados con este campo de estudio; la sección 3 exhibe la fundamentación teórica referente a la normativa IEC-61499 y OPC-UA, la sección 4 indica la solución propuesta la cual abarca el diseño de un conjunto de SIFB para IEC 61499 y se describe en detalle el archivo XML de configuración para servidores OPC UA, en la sección 5 se muestra el caso de estudio en el que el conjunto anterior de SIFBs se emplean para el gobierno de una planta; finalmente, en la sección 6 se presentan algunas conclusiones y trabajos a futuro

2. Trabajos Relacionados

El objetivo de esta sección es presentar la manera en otros autores que abordan la interpretación del CPPS. En este sentido, se presenta un conjunto de trabajos relacionados, paradigmas y tecnologías de desarrollo, que proporcionan arquitecturas orientadas a servicios y sistemas M2M, empleando el estándar IEC 61499.

Kang et al. (Kang, Kapitanova, & Son, 2012) proponen un middleware llamado Servicio de Distribución de Datos en Tiempo Real (RDDS) para CPPSs; este servicio facilita el intercambio de variables de una manera segura en este tipo de sistemas. El mecanismo de publicación/suscripción que se diseña e integra en el middleware tiene como fin el mejorar la fiabilidad y eficiencia en el tiempo de recogida de datos de los sensores a nivel de planta. La exactitud del modelo diseñado para sensores se mejora mediante una realimentación de los datos proporcionados por los controladores en tiempo real. Sin embargo, no se evalúa el uso de este middleware con redes que se utilizan actualmente en la industria, por lo que su aplicabilidad en comunicaciones industriales a corto plazo no sería factible.

Otro artículo interesante es el propuesto por Vicaire et al (Vicaire, Hoque, Member, Xie, & Stankovic, 2012), en el cual se proponen metodologías de programación para CPPSs basadas en modelos. El modelo de programación dado en este artículo es llamado “Bundle” y es adecuado para modelar tanto dispositivos de nivel de planta como sensores y actuadores. Sin embargo, no se atiende su integración con normas de automatización como IEC 61499 o IEC 61131.

Lee et al. (Lee, Bagheri, & Kao, 2014), (Lee, Lapira, Bagheri, & Kao, 2013) presentan trabajos relacionados con la aplicación de CPPSs en la automatización industrial en donde proporciona una revisión del Estado de Arte de los CPPSs, y valoran el impacto en la informática industrial de nuevas tecnologías como procesamiento inteligente de datos (Big Data), computación en la nube (Cloud Computing), etc. Como conclusión, la aplicación del CPPS y el análisis inteligente de grandes volúmenes de datos es una solución factible para proporcionar predicción y eficiencia en

la personalización de productos, y mejorar la producción en una planta industrial. Sin embargo, no se abordan problemáticas como la reutilización de software, comunicaciones de planta o su uso en plataformas hardware para CPPS.

Actualmente, existen aplicaciones CPPS en empresas industriales reales. Uno de los principales retos es diseñar diferentes metodologías de modelado que permitan manejar sistemas de producción industrial complejos y donde se presume que su complejidad aumentará a futuro. En este sentido, para sistemas de automatización distribuida con procesos físicos integrados son necesarias metodologías de diseño basadas en técnicas de modelado como las que se pueden soportar bajo la norma IEC 61499. Desde la perspectiva del diseño, se debe tener modelos de software para las diversas plataformas existentes, modelos para la semántica de ejecución y modelos para las comunicaciones usando redes de comunicaciones industriales. Lo anteriormente expuesto se indica en el trabajo realizado por Dai et al (Dai & Chen, 2015) en donde el principal objetivo es presentar modelos integrados de control y software de comunicación para diseños de sistemas distribuidos en aplicaciones Ciber-físicas usando la norma IEC 61499. Sin embargo, el diseño para nuevas normas de comunicación como OPC UA no se encuentra cubierto en dicha investigación.

Ferrarini et al. (Ferrarini, Veber, & Milano, 2005), (Ferrarini, Veber, & Fogliazza, n.d.) promueve un modelado de procesos industriales bajo la norma IEC 61499 basado en la utilización de componentes de automatización industrial con una distribución similar a la estructura de planta o de la maquinaria de la división de procesos dentro de las fábricas. En esta misma línea, Thramboulidis (K. Thramboulidis, 2005) aplica técnicas de modelado usando la norma IEC 61499 y presenta la arquitectura denominada MIM la cual está basada y adapta conceptos de MDA (Model Driven Architecture) planteando un entorno para modelar componentes mecatrónicos que intervienen en procesos industriales.

Christensen (J.H.Christensen, 2000) propone patrones de modelado para diseño de sistemas industriales distribuidos como apoyo a la norma IEC 61499. De la manera similar, Serna et al. (Kleanthis Thramboulidis, 2009) proponen dos patrones de diseño para el manejo de los estados en FBs cuando existen errores en aplicaciones dentro de la norma IEC 61499.

Stojmenovic (Stojmenovic, 2014) considera a M2M como una tecnología clave para CPPS. El autor identifica el problema de que todas las investigaciones existentes en el ámbito de la comunicación M2M se basan en modelos a pequeña escala y soluciones centralizadas. En este sentido, propone un cambio de paradigma y sugiere que los nodos también deben tomar decisiones basadas en el conocimiento local, en lugar de sólo el reenvío de mensajes al sistema central. Usando este enfoque en sistemas de producción permitiría una fácil vinculación de los datos de planta, a partir de un conjunto de variables que se transmiten de una manera segura y en donde el control industrial se realiza también localmente. Sin embargo, en este artículo no se

menciona cuáles serían las ventajas de aplicar esta arquitectura con normas creadas para la su aplicación en sistemas distribuidos como IEC 61499, o, desde el punto de vista de las comunicaciones, la utilización de normas como OPC UA que podrían brindar comunicaciones seguras.

En resumen, estas investigaciones se basan en la coincidencia de las técnicas de búsqueda de nuevas metodologías para producir sistemas distribuidos bajo la norma IEC 61499, pero no se centran en la integración con un protocolo de comunicación útil en fábricas inteligentes, tal como OPC-UA podría ser.

3.- Fundamentación Teórica

A continuación, se dará una breve explicación de la norma IEC 61499 y la arquitectura cliente/servidor OPC UA, las cuales son la pare medular del presente trabajo de investigación

3.1. OPC-UA

OPC UA representa la evolución de normas anteriores como OPC-DA, OPC-A&E y OPC HDA con el fin de proporcionar una arquitectura abierta e independiente de proveedor (GmbH, 2010). Con el fin de solucionar los problemas de portabilidad de las normas anteriores, el servidor OPC UA emplea una pila de comunicación que puede ser utilizada directamente en los sistemas de automatización. OPC UA proporciona un medio adecuado para una comunicación fiable, robusta y de alto rendimiento para aplicaciones industriales de automatización. Además, OPC UA puede ser integrado en dispositivos empotrados como, por ejemplo, los que implementan CPPSs.

OPC UA va más allá de ser un medio de transporte, ya que incluye un mecanismo de modelado capaz de soportar los posibles modelos para una planta industrial. OPC UA ofrece acceso a la información a través de modelos de planta. El uso de la arquitectura propuesta por OPC UA permite una descripción completa de los datos del sistema, independientemente de su complejidad. Este enfoque introduce el concepto de modelo de proceso para una mejor adaptación a las necesidades de las aplicaciones industriales modernas.

Con los servidores OPC UA es posible una representación basada en el modelo del proceso de planta que consiste en un conjunto de objetos que el servidor pone a disposición de los clientes. Estos objetos representan los datos de proceso subyacentes en tiempo real (Van Der Linden et al., 2011).

3.2. IEC-61499

4DIAC es un entorno de desarrollo compatible con la norma IEC 61499 para el diseño y ejecución de aplicaciones y que se ejecuta en plataformas heterogéneas (Claassen, Rohjans, & Lehnhoff Member, 2011). En particular, en este trabajo se ha utilizado 4DIAC-IDE como entorno de

desarrollo para aplicaciones de control distribuido. Este entorno proporciona portabilidad, interoperabilidad, así como capacidades de configuración. El runtime utilizado es FORTE (4DIAC-RTE), que permite la ejecución de aplicaciones IEC 61499 dentro de dispositivos empotrados de bajo coste. FORTE proporciona portabilidad a una amplia variedad de sistemas operativos, entre ellos Windows y Linux. Mientras que 4DIAC-IDE sólo puede ser ejecutado en la plataforma de desarrollo, el runtime FORTE se puede ejecutar en cualquier dispositivo del sistema de automatización distribuida.

La entidad clave en la norma IEC 61499 es el Bloque de Función (FB). El FB encapsula en un mismo elemento los algoritmos de control y comunicación haciéndolos transparentes al usuario. Para el desarrollo de los FBs prácticamente se pueden emplear cualquier lenguaje de programación, incluyendo IEC 61131, Java, C/C++. El Bloque de Función de Interfaz de Servicio (SIFB) es uno tipo de FB que permite abstraer el acceso a recursos hardware, comunicaciones, así como a recursos empleados por la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API).

4.- Solución Propuesta

Se procede a detallar el hardware seleccionado para implementar CPPS de bajo costo, así como también, la arquitectura software desarrollada e implementada en IEC-61499 para comunicaciones M2M a nivel industrial

4.1 Arquitectura Hardware

La tarjeta Raspberry Pi 2 modelo B (RPi2) es Ordenador de Placa reducida (Single Board Computer – SBC), que permite ejecutar diferentes distribuciones de Linux. En nuestro caso de estudio se utiliza Raspbian que es una versión de Debian Jessie. Desde el punto de vista hardware, esta plataforma integra un procesador ARM Cortex-A7 de cuatro núcleos de 900 MHz con 1 GB de RAM. La tarjeta RPi2 también proporciona una GPIO con 40 pines para la interacción con el mundo físico. Además incluye 4 puertos USB, puerto Ethernet y una ranura de expansión para tarjeta micro SD.

La tarjeta BeagleBone Black (BBB) es otro SBC que ejecuta otra distribución Linux Debian Jessie. La BBB se basa en un microprocesador AM3358 de 1 GHz, con 512 MB de RAM de tipo DDR3. Posee un puerto de propósito general de E/S (GPIO) de 69 pines para la interacción con el mundo físico. Además, entre otras características cuenta con un puerto USB y un puerto Ethernet.

La placa Arduino UNO se utiliza para recoger las variables a nivel de la planta del proceso industrial. Arduino UNO dispone de 14 E/S digitales y 4 entradas analógicas; de esta manera es posible recoger entradas analógicas o digitales de una amplia variedad de sensores, y controlar diferentes actuadores.

Sin embargo, con el fin de hacer posible que estas tarjetas trabajen con señales industriales, es necesario emplear una tarjeta de expansión que adapten las señales de los puertos I/O. En este caso en particular, se ha diseñado, implementado y usado una tarjeta de diseño propio (*Figura 1*) que proporciona 8 entradas digitales y 8 salidas digitales de 24V por cada dispositivo

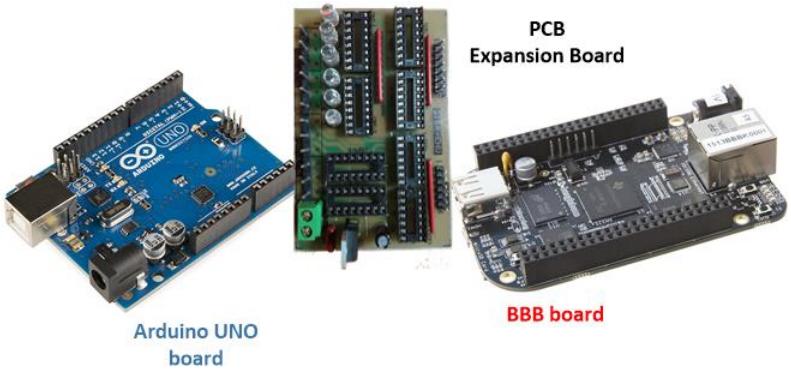


Figura 1: Plataforma Hardware

4.2 Arquitectura software: Conjunto de SIFBs para OPC-UA

Para la creación de los SIFBs se ha empleado la infraestructura proporcionada por el software 4DIAC-IDE para IEC 61499. Este conjunto de SIFBs encapsula las operaciones que ofrecen servicios de OPC UA.

4.2.1. SIFB OPCUA_SERVER

Mediante la utilización de este SIFB es posible gestionar la configuración y el funcionamiento de un servidor OPC UA. El servidor OPC UA se configura empleando un archivo en formato XML. Este archivo incluye todos los parámetros esenciales para el servidor OPC UA como la dirección URL, el identificador URI, nombre del proveedor, el nombre del servidor, la versión, etc. Además, este archivo de configuración declara el Espacio de Direccionamiento (Adress Space) con sus Tipos de Nodo (NodeTypes) e Instancias de Nodo (NodeInstances). En el espacio de direccionamiento se definen las variables de datos suministardas por el servidor OPC UA (DataVariables). Además, dentro de la configuración se definen otras dos secciones:

1. Field Devices: En esta sección se agrupan las definiciones de los dispositivos de campo a los que tiene acceso el servidor. También se definen los datos de proceso (FieldData) suministrados por cada dispositivo. Los dispositivos de campo se caracterizan por el protocolo de comunicación o el mecanismo de acceso a los datos de proceso, y la información relacionada con el mismo (*Figura 2*).

2. Data Mapping: En esta sección se definen las relaciones existentes entre las variables de datos (DataVariables) ya declaradas la sección del Espacio de Direccionamiento (Address Space) y sus correspondientes datos de proceso (FieldData) de los dispositivos de campo (FieldDevice).

```
<OPCUAServerConfig Comment="OPCUAmdk Server Configuration - MECLAB_RPi2_CS01 ">
  <NodeTypes>
  <NodeInstances>
  <FieldDevices>
    <FieldDevice Name="RPi2_ST1" Type="PiFaceDigital">
    <FieldDevice Name="ARD_ST2" Type="ModbusTCP">
      <UpdateTime>10</UpdateTime>
      <IPAddress>192.168.0.132</IPAddress>
      <FieldData Name="Auto_Man" Type="BOOL" AccessLevel="READWRITE" Address="%Q0"/>
      <FieldData Name="Start_Stop" Type="BOOL" AccessLevel="READ" Address="%I0"/>
      <FieldData Name="Motor" Type="BOOL" AccessLevel="READ" Address="%I1"/>
      <FieldData Name="Direction" Type="BOOL" AccessLevel="READ" Address="%I2"/>
      <FieldData Name="Solenoid" Type="BOOL" AccessLevel="READ" Address="%I3"/>
      <FieldData Name="Reject_Sensor" Type="BOOL" AccessLevel="READ" Address="%I4"/>
      <FieldData Name="Barrier_Sensor" Type="BOOL" AccessLevel="READ" Address="%I5"/>
    </FieldDevice>
    <FieldDevice Name="ARD_ST3" Type="ModbusTCP">
  </FieldDevices>
  <DataMappings>
</OPCUAServerConfig>
```

Figura. 2: Configuración de Dispositivos de Campo

Además de eventos comunes a otros SIFBs como INIT, REQ, INITO y CNF (*Figura 3*), también presenta los parámetros de entrada y salida siguientes:

- QI (BOOL): Este dato de entrada trabaja conjuntamente con el evento INIT para conectar o desconectar el servidor OPC UA. Si se solicita el evento INIT, y si QI es VERDADERO (TRUE), el servidor OPC UA conecta; si QI es FALSO (FALSE), el servidor OPC UA finaliza su ejecución.
- CONFIGFILE (WSTRING): Contienen el nombre completo del archivo XML de configuración.
- QO (BOOL): Informa sobre cómo ha finalizado de último procedimiento ejecutado.
- STATUS (STRING): Ofrece información del estado del servidor.

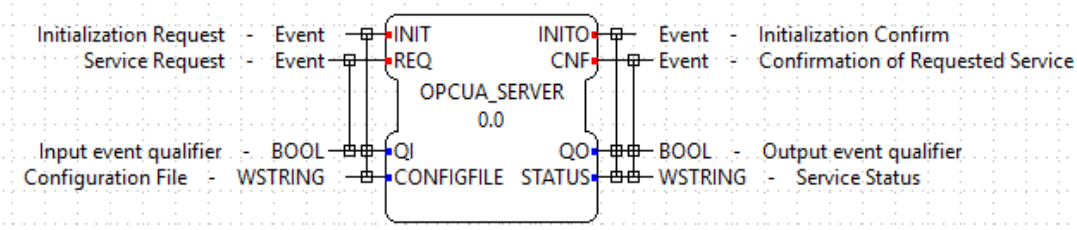


Figura. 3: SIFB OPCUA_SERVER

4.2.2. SIFB OPCUA_CLIENT_READ

Este SIFB permite implementar un cliente OPC UA capaz de consultar de manera síncrona variables de un servidor OPC UA.

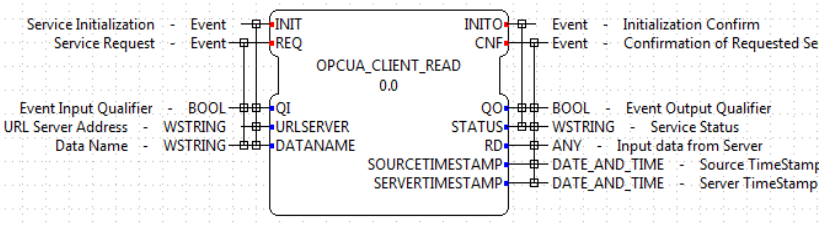


Figura. 4: SIFB OPCUA_CLIENT_READ

Además de los eventos comunes, este SIFB presenta los siguientes parámetros de entrada y salida (*Figura 4*):

- URLSERVER (WSTRING): Indica la URL del servidor OPC UA.
- DATANAME (WSTRING): Nombre de la variable a acceder en el servidor OPC UA.
- RD (ANY): Valor del dato que devuelve el servidor OPC UA al cual el cliente está conectado. El tipo de este parámetro es ANY para mejorar su reutilización en cualquier tipo de aplicación.
- SOURCETIMESTAMP (DATE AND TIME): Indica la información de tiempo asociada al elemento en el recurso de origen.
- SERVERTIMESTAMP (DATE AND TIME): Indica la información de tiempo asociada al elemento en el servidor OPC UA.

4.2.3. SIFB OPCUA_CLIENT_WRITE

Mediante este SIFB (*Figura 5*) se crea un cliente para la escritura síncrona de variables en su servidor OPC UA. Presenta los siguientes parámetros:

- TYPE (WSTRING): Expresa el tipo del dato para el valor que se va a escribir en el servidor OPC UA.
- SD (ANY): Indica el valor del dato a escribir. Como en el SIFB anterior, el tipo de este parámetro es ANY con el fin de aumentar la generalidad.

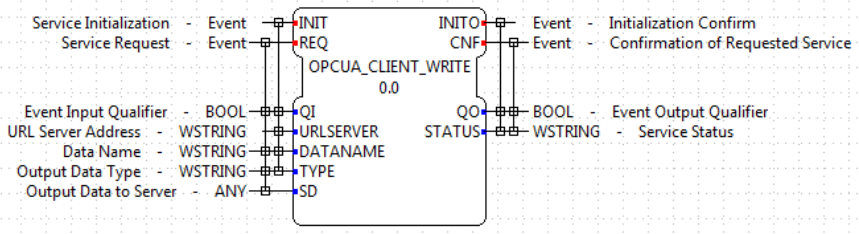


Figura 5: SIFB OPCUA_CLIENT_WRITE

4.2.4. SIFB OPCUA_CLIENT_SUBSCRIBE

Además de los servicios de lectura y escritura síncrona, OPC UA permite el mecanismo de subscripción. La suscripción mantiene una copia local de los parámetros del elemento a ser supervisado. Estas copias locales pueden ser alteradas mediante la actualización de sus propiedades sin afectar el estado en el servidor. Para implementar este mecanismo se ha creado

un SIFB (Figura. 6) que permite crear clientes que realizan suscripción para monitorizar variables de servidores OPC UA.

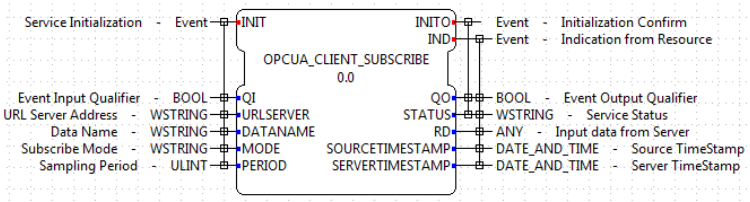


Figura. 6: SIFB OPCUA_CLIENT_SUBSCRIBE

Los parámetros de entrada y salida de este SIFB son:

- MODE (WSTRING): Se permiten dos modos para monitorizar las variables del servidor OPC UA: “Reporting” y “Sampling”.
- PERIOD (ULINT): Fija el período de muestreo en milisegundos para los elementos en modo de muestreo.
- RD (ANY): Proporciona el valor de los elementos monitorizados suministrados por el servidor OPC UA.
- SOURCETIMESTAMP (DATE AND TIME): Indica el Timestamp asociado al elemento del recurso de origen.
- SERVERTIMESTAMP (DATE AND TIME): Muestra el Timestamp asociado al elemento del servidor OPC UA.

5. Caso de Estudio

El caso de estudio propuesto describe un sistema de industrial a escala con el objetivo de mostrar una aplicación de automatización industrial. En particular, la planta de producción es una línea de montaje con tres estaciones FESTO® como se representa en la *Figura 7*. La Estación de Manipulación recoge desde una posición de entrada las piezas de trabajo que deben procesarse y las deja sobre una rampa que alimenta siguiente estación; la Estación de Transporte traslada y selecciona las piezas; mientras que la Estación de Almacenamiento completa el procesamiento de la línea de montaje.

La arquitectura de hardware y software de bajo coste comprende: una tarjeta Raspberry Pi 2 modelo B como controlador del proceso y que integra un servidor OPC UA, una BeagleBone Black como sistema de supervisión y monitorización, y dos tarjetas Arduino UNO como dispositivos entrada/salida de periferia distribuida trabajando como esclavos Modbus/TCP.

Como se puede observar en la *Figura 7*, la Estación de Almacenamiento y la Estación de Transporte se asocian a la red industrial mediante el uso de esclavos que utilizan el protocolo Modbus/TCP integrado en tarjetas Arduino UNO. La tarjeta RPi2 tiene acceso directo a las E/S de la Estación de Manipulación y, como a su vez es maestro Modbus/TCP, puede acceder a las E/S

de las otras estaciones del proceso. En la *Figura 7* también se puede observar el archivo de configuración XML del servidor OPC UA con el cual se consigue el acceso a las variables locales en la RPi2 y las variables remotas de los esclavos como maestro Modbus/TCP.

La RPi2 controla las tres estaciones e integra el servidor OPC UA. Para ello se ejecuta una instancia del runtime FORTE, el cual permite a los SIFBs anteriormente presentados llevar a cabo el control de todo el proceso y la gestión del servidor OPC UA.

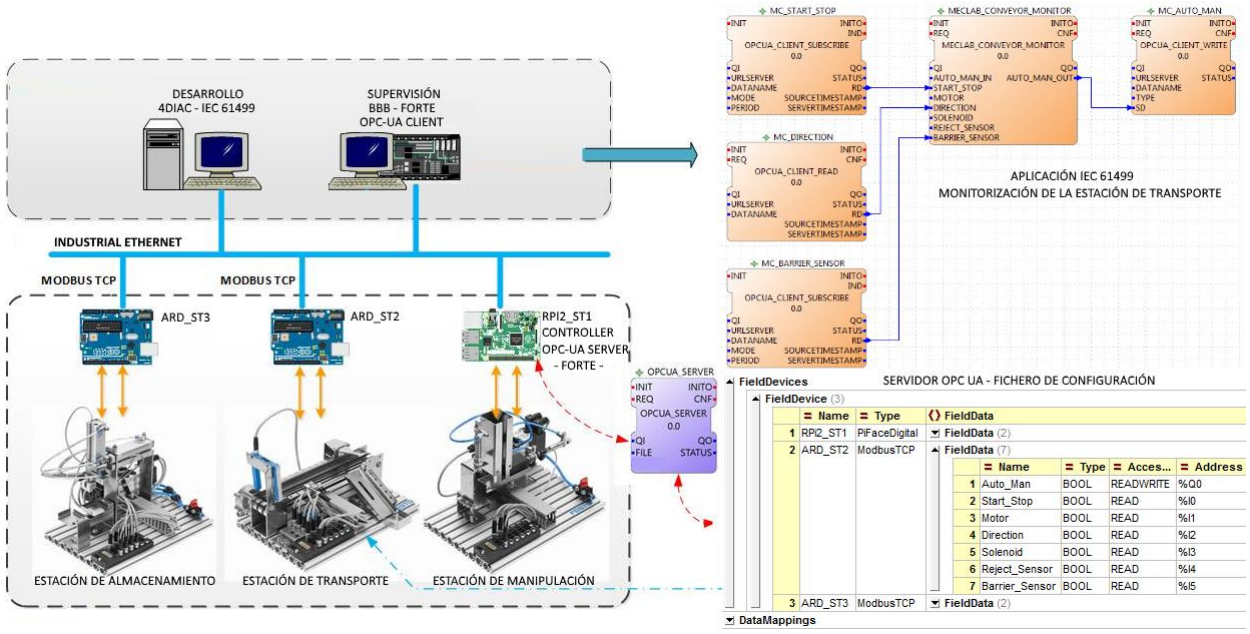


Figura. 7: Caso de estudio IEC 61499 y fichero de configuración del servidor OPC UA en formato XML

Los clientes OPC UA remotos, así como la aplicación de supervisión que se ejecuta en la tarjeta BBB, pueden leer/escribir o suscribirse a los datos de proceso mediante el conjunto SIFB anteriormente descrito. Por ejemplo, la *Figura 7* muestra la aplicación de supervisión de la Estación de Transporte bajo la norma IEC 61499.

El servidor OPC UA y todas las características de los clientes se integran en una librería propia implementada utilizando una pila OPC UA en C ++. La librería OPC UA incluye el acceso a los esclavos Modbus/TCP y al GPIO del RPi2. Al mismo tiempo, esta librería OPC UA se ha integrado en el runtime FORTE, de esta manera las características del servidor y cliente están incrustadas en el runtime.

6. Conclusiones

Este trabajo presenta un enfoque para acceder a los datos de campo en sistemas de automatización industrial en una arquitectura CPPS de bajo coste empleando comunicaciones OPC UA y bajo la norma IEC 61499. La utilización de este tipo de sistemas ayuda a introducir nuevos conceptos de arquitecturas CPPS dentro del paradigma de la Industria 4.0. La arquitectura

propuesta proporciona una infraestructura que permite comunicaciones M2M a nivel de planta y la integración en el proceso productivo de dispositivos de niveles superiores.

Se propone un conjunto de SIFBs para implementar servidores y clientes OPC UA, incluidos los mecanismos de suscripción. Estos bloques de función permiten, de una manera rápida y sencilla, la construcción de nuevas aplicaciones distribuidas basadas en componentes mediante entornos de programación bajo la norma IEC 61499.

Futuros trabajos se centran en el desarrollo de nuevas funcionalidades para la mejora de la integración de CPPSs en plantas industriales, adecuando modelos compatibles OPC UA a otros estándares industriales como ISA 95 o AML

Bibliografía

Claassen, A., Rohjans, S., & Lehnhoff Member, S. (2011). Application of the OPC UA for the Smart Grid. In *2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies* (pp. 1–8). IEEE. http://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2011.6162627

Dai, W., & Chen, C. (2015). Modeling Distributed Automation Systems in Cyber- Physical View, 984–989.

Ferrarini, L., Veber, C., & Fogliazza, G. (n.d.). IEC 61499 implementation of a Modular Control Model for Manufacturing Systems. In *2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation* (Vol. 1, pp. 315–321). IEEE. http://doi.org/10.1109/ETFA.2005.1612540

Ferrarini, L., Veber, C., & Milano, P. (2005). Design and implementation of distributed hierarchical automation and control systems with IEC 61499. *I Can*, 0–5.

GmbH, 4DIAC Consortium. PROFACTOR. (2010). Framework for Distributed Industrial Automation and Control (4DIAC). Retrieved from http://www.fordiac.org

J.H.Christensen. (2000). Design patterns for systems engineering in IEC 61499. In *Verteilte Automatisierung - Modelle und Methoden für Entwurf, Verifikation, Engineering und Instrumentierung* (pp. 63–71). Germany.

Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE …*, 2–4. http://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843

Kang, W., Kapitanova, K., & Son, S. (2012). RDDS: A real-time data distribution service for cyber-physical systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *8*(2), 393–405. http://doi.org/10.1109/TII.2012.2183878

Kim, J., Lee, J., Kim, J., & Yun, J. (2014). M2M service platforms: Survey, issues, and enabling technologies. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, *16*(1), 61–76.

http://doi.org/10.1109/SURV.2013.100713.00203

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2014). Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics. *Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014*, (November 2015). http://doi.org/10.13140/2.1.1464.1920

Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., & Kao, H. an. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*, *1*(1), 38–41. http://doi.org/10.1016/j.mfglet.2013.09.005

Scheuermann, C., Verclas, S., & Bruegge, B. (2015). Agile Factory - An Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process. *3rd IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks and Publications*, *2008*, 5. http://doi.org/10.1109/CPSNA.2015.17

Stojmenovic, I. (2014). Machine-to-Machine Communications with In-network Data Aggregation, Processing and Actuation for Large Scale Cyber-Physical Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, *PP*(99), 1–1. http://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2311693

Takahashi, K., Yokoyama, K., & Morikawa, K. (n.d.). Integrating Lean and Agile Strategies into the Production Control System for Mixed- model Production Lines, *246*, 405–412.

Thramboulidis, K. (2005). Model-Integrated Mechatronics—Toward a New Paradigm in the Development of Manufacturing Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *1*(1), 54–61. http://doi.org/10.1109/TII.2005.844427

Thramboulidis, K. (2009). IEC 61499 function block model: Facts and fallacies. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *3*(4), 7–23. http://doi.org/10.1109/MIE.2009.934788

Van Der Linden, D., Mannaert, H., Kastner, W., Vanderputten, V., Peremans, H., & Verelst, J. (2011). An OPC UA interface for an evolvable ISA88 control module. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*. http://doi.org/10.1109/ETFA.2011.6058978

Vicaire, P. A., Hoque, E., Member, S., Xie, Z., & Stankovic, J. A. (2012). Bundle : A Group-Based Programming Abstraction for Cyber-Physical Systems, *8*(2), 379–392. http://doi.org/10.1109/TII.2011.2166772

Windt, K., Böse, F., & Philipp, T. (2008). Autonomy in production logistics: Identification, characterisation and application. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *24*(4), 572–578. http://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.07.008

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.300 - 314
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Diseño e implementación de un Sistema de Medición Inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño

(Design and implementation of a Smart Measurement System for AMI in the microgrid of the University of Nariño)

Andrés F. Arciniegas M.[1], David E. Imbajoa R.[2] , Javier Revelo F.[3]

Resumen:
Este proyecto describe la propuesta de un Sistema de Gestión de Medida desde el proceso de diseño hasta la implementación de un prototipo de medidor inteligente, para operación en la microrred de la Universidad de Nariño. Este dispositivo se caracteriza por el constante registro de medidas con resolución de 24 bits, suficiente para realizar análisis de calidad de la potencia. Además, se integra al sistema SCADA, a través de los protocolos abiertos MODBUS, DNP3 e IEC 61850 con técnicas de ciberseguridad programada. De igual manera, se diseña varias plataformas de gestión para el monitoreo de variables eléctricas y el control del flujo de corriente a las cargas. Finalmente, dos casos de estudios muestran la aplicación en la microrred, del Sistema de Gestión de Medida implementado.

Palabras clave: Medidor inteligente; AMI; red inteligente; microred; ciberseguridad.

Abstract:
This project describes a proposed Measure Management System, from the design stage to the implementation of a prototype smart meter, adapted to operate in the microgrid at the University of Nariño. This device features a constant record of measures, with resolution of 24 bits, sufficient to perform power quality analysis. In addition, it is integrated into the SCADA system through the open protocols MODBUS, DNP3 and IEC 61850, with scheduled cybersecurity techniques. Likewise, several management platforms for the monitoring of electrical variables and control over the current flow to the loads is designed. Finally, two study cases show the application of the implemented measure management system in the microgrid.

Keywords: Smart meter; AMI, smart grid; microgrid; cybersecurity

1. Introducción

La red eléctrica es actualmente una de las mallas interconectadas más grandes del planeta, al extenderse por una vasta porción de su territorio. Durante muchos años, en varios países de Latinoamérica, no ha habido cambios radicales en la tecnología para la expansión de la red. Incluso se sigue usando métodos muy similares a los manejados en el siglo pasado. Sin embargo, durante los últimos años, se ha venido introduciendo al sistema eléctrico una serie de tecnologías innovadoras que permiten una gestión del flujo de energía de mayor eficiencia, y una mejor

[1] Universidad de Nariño, Pasto – Colombia (andresarciniegas@udenar.edu.co)
[2] Universidad de Nariño, Pasto – Colombia (deivy311@udenar.edu.co)
[3] Universidad de Nariño, Pasto – Colombia (javierrevelof@udenar.edu.co)

calidad de esta respecto a la actual. La integración completa de tecnologías de la información, junto con otras fuentes renovables de energía, en un modelo de generación y distribución no centralizado, se conoce como Red Inteligente, o Smart Grid (Farhangi, 2010). Asimismo, una Microrred es una subred de distribución que incluye generación y almacenamiento, y que también tiene la capacidad de operar en modo isla, es decir, sin conexión a la red eléctrica convencional de servicio público.

Existen diferentes razones por las cuales el proceso de transición de una red convencional a una red inteligente se puede ver acelerada, como lo son la disponibilidad de tecnología, equipos y recursos en general; la variabilidad del flujo hídrico debido al cambio climático y por ende la afectación de la generación por hidroeléctricas; el crecimiento exponencial de la población; fallas presentadas por la antigüedad de la red, entre otras (Ipakchi, 2009). Independientemente de la rapidez de los cambios, la transformación masiva y necesaria del sistema eléctrico tendrá lugar gradualmente en el futuro, y diferentes entes particulares e instituciones educativas se encuentran ya trabajando en estos cambios, y en la integración de las ahora disponibles fuentes renovables, y los equipos compatibles con ellas, como los automóviles y bicicletas híbridas o eléctricas.

Adicional a la generación distribuida con fuentes alternativas, en las microrredes, también se tiene una Infraestructura Avanzada de Medida (AMI), que se encarga principalmente de registrar las diferentes variables de interés para gestionar la microrred en su conjunto. Esta incluye sistemas de red residencial, incluyendo monitoreo y control de variables; medidores inteligentes; redes de comunicaciones que se incorporan a los centros de datos; sistemas de gestión de información; y finalmente la integración de plataformas de software nuevas y en operación. Adicionalmente, una AMI provee un gran avance hacia la modernización del sistema de potencia completo. (Chen, 2011)

Un sistema basado en AMI, al tener información instantánea de la red eléctrica, permite la realimentación inmediata de los eventos de la microrred, pudiendo diagnosticar rápidamente emergencias o deficiencias de esta, para su posterior corrección y reparación de manera eficaz. La infraestructura de comunicación bidireccional de una AMI soporta también la automatización de la red a nivel de circuito, con posibilidad de controlar el flujo de corriente en las cargas. (Hart, 2008)

Actualmente, la implementación de sistemas AMI se encuentra en crecimiento en diferentes campos de acción, tanto en el sector privado como en el público, impulsado por sus múltiples beneficios, para el propietario como para los usuarios. Uno de sus beneficios es la eficiencia mejorada en la distribución y uso de la energía eléctrica, produciendo un impacto favorable en el medio ambiente. Permite la aceleración del uso de generación distribuida, que promueve la instalación y uso de fuentes de energía renovables.

Un adelanto importante de la instalación de una AMI se desarrolla actualmente en la Universidad de Nariño, en el marco del proyecto “Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño –ALTERNAR–”, que tiene como objeto, el diseño y la implementación de una Microrred en el campus universitario. Por lo anterior, en el presente artículo, se describe el diseño e implementación de un Sistema de Medición Inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño

Este documento se organiza de la siguiente manera: En la sección II se describe el diseño de la microrred inteligente de la Universidad de Nariño. En la sección III se describe el sistema de gestión de medida implementado incluyendo los componentes tanto de hardware como de software, de acuerdo a los requerimientos de la microrred inteligente. En la sección IV se expone los resultados del proceso, aplicado a dos casos de estudio en la microrred y, finalmente en la sección V, se termina con las conclusiones y el trabajo futuro a desarrollar. Señalar en qué consiste el trabajo completo, su objetivo, antecedentes, estado actual del problema, hipótesis y los objetivos propuestos.

2. Materiales y métodos

2.1. Microred universitaria

El proyecto ALTERNAR, es una iniciativa del Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica –GIIEE- y financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías. El proyecto plantea como uno de sus principales objetivos, la elaboración de una microrred piloto para investigar diferentes tecnologías de energización sostenible. La microrred inteligente tiene generación distribuida a partir de fuentes alternativas de energía, como se muestra en la *Figura 1*.

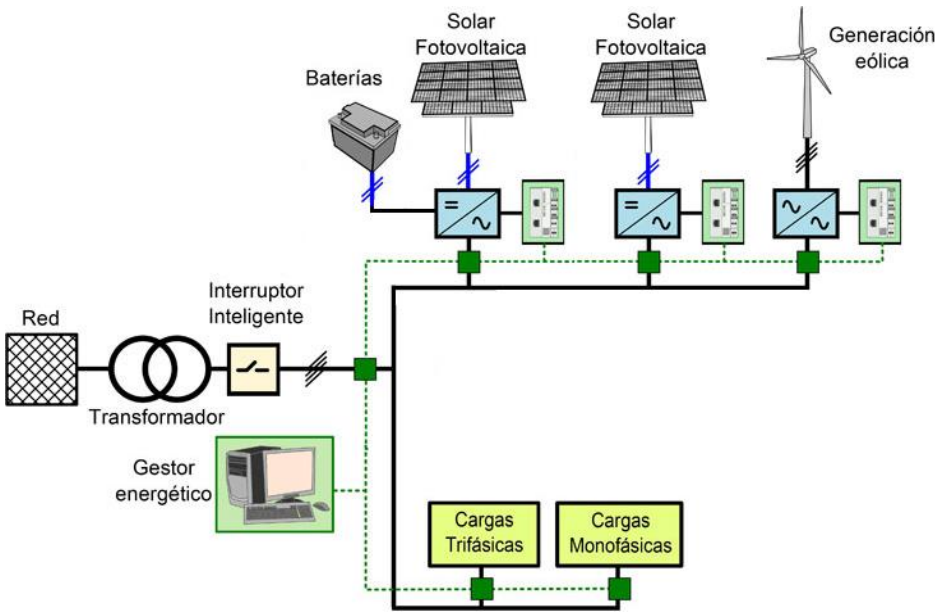


Figura 1. Diagrama general de la microrred de la Universidad de Nariño

Principalmente, la microrred está compuesta de 3 sistemas fotovoltaicos, cada uno de 12,5 KW, de los cuales dos son sistemas de inyección a red y el tercero es un sistema hibrido con almacenamiento. Además, tiene un aerogenerador ENAIR 70, de 5KW, que se integra a la microrred con un sistema fotovoltaico de respaldo. Además, se va a integrar un generador diésel de 500KVA, para suplir la demanda de energía del campus universitario, ante ausencia de energía del Sistema Interconectado Nacional, y será la referencia para la inyección de energía en operación en modo isla.

En complemento a la generación distribuida, una de las características más destacadas de la microrred es su infraestructura totalmente monitoreada, para efectuar estrategias de control y realizar la gestión de la energía. Para esto, se ha implementado una red de comunicaciones inalámbrica propia para la microrred, a través de radioenlaces en la banda de 2.4GHz, conectando los diferentes edificios de la universidad con el laboratorio donde está el centro de gestión de medida. En la *Figura 2* se ilustra la topología del sistema de comunicaciones, al que se integran las diferentes estaciones de medición con la plataforma de gestión, que se propone en la presente investigación. Si bien se diseña para adecuarse a la microrred universitaria, es perfectamente escalable a cualquier sistema eléctrico que requiera ser monitoreado.

Figura 2. Topología del sistema de comunicación de estaciones de medición con el centro de gestión en microrred de la Universidad de Nariño

La red de comunicaciones permite establecer un Sistema de Gestión de Medida (EMS), cuya operación depende de la recolección de mediciones de estaciones. Por esta razón, se consideró indispensable el diseño, montaje y operación de instrumentos que permiten el monitoreo de variables eléctricas de la microrred. También, es un requerimiento importante que la recolección de medidas se haga con intervalos de tiempo muy cortos (del orden de milisegundos), debido a

que se requiere evaluar la calidad de la energía de la red convencional ya instalada, como la generada por las fuentes renovables.

En el mercado actual, los equipos de medida de energía eléctrica inteligente, que cubren los requerimientos de la microrred de la Universidad, tienen costos muy elevados. Por lo anterior, la presente investigación aporta al desarrollo de la microrred del campus universitario, específicamente en lo referente al sistema de medición para la recolección de datos con una Infraestructura Avanzada de Medida, bajo diferentes canales de comunicación con capacidad de análisis de red y reconexión remota de cargas. Los equipos de medida de energía eléctrica y el sistema de gestión, con las cualidades propias de los dispositivos de medición inteligente, se describe en la siguiente sección.

2.2. Sistema de gestión de Medida

El sistema implementado, abreviado en las siglas *SGM* (Sistema de Gestión de Medida), incluyó la construcción de un medidor inteligente, y el diseño de dos aplicativos web para la gestión de información local y remota.

El objetivo principal de este proyecto es garantizar el monitoreo constante, completo y accesible de las medidas eléctricas en la microrred de la universidad. Tiene un control directo sobre los flujos de corriente de las cargas, tanto desde un software de gestión de medida como desde un ordenador con conexión a la red de área local, con la respectiva autenticación. El sistema cuenta con un registro histórico tanto en las estaciones (medidor), como la nube o servidor.

El modelo que adapta estos requerimientos de manera eficiente se enmarca en la integración del llamado *Sistema de Gestión de Energía* (EMS), orientado a la versión de flujo eléctrico. Este sistema permite desarrollar el modelo del objetivo, y facilita un proceso de optimización del ejercicio de la generación y el consumo de electricidad [3]. En el SGM, se tiene 3 componentes principales para su integración a la microrred: El medidor inteligente, Ciberseguridad en la red, gestión de información, que se describen a continuación:

a. El medidor inteligente

Es el dispositivo inteligente de medida de la AMI presentada en el proyecto. En la *Figura 3* se ilustra la estructura interna del medidor inteligente diseñado.

Los requerimientos principales considerados para el diseño del medidor fueron: Rango de medida suficiente para operación en baja tensión, a una corriente de máximo cien amperios; distintos canales de comunicación para interrogación de medidas en red local o fuera de ella; interfaz gráfica de usuario para manipulación directa local o remota; capacidad de integración a un software de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA por sus siglas en inglés), que en el caso presentado es Survalent®.

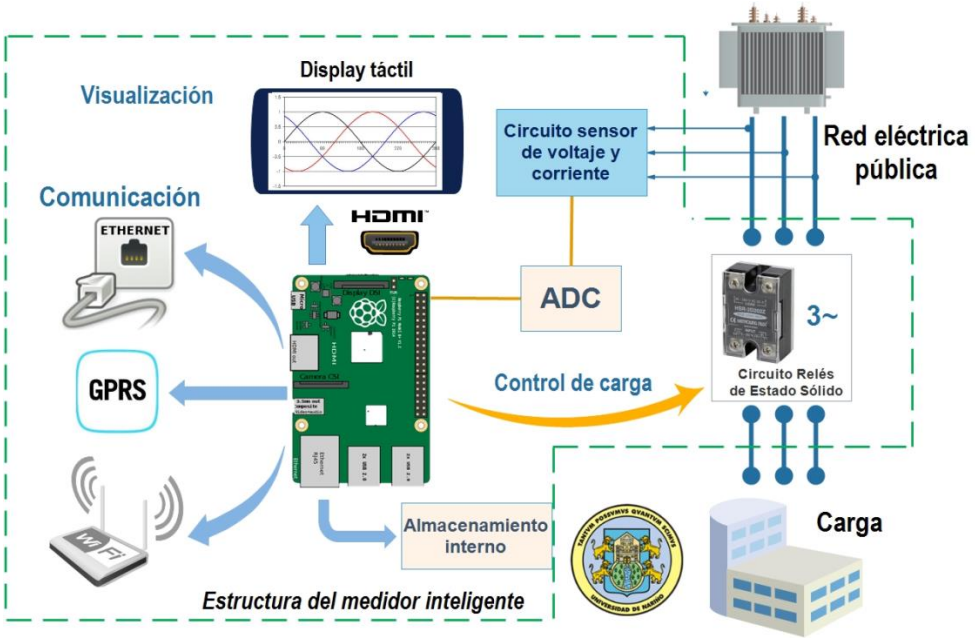


Figura 3. Estructura del Medidor. La línea verde punteada limita los módulos interiores del medidor. Se destaca la pantalla táctil de visualización, los tipos de comunicación, la lectura de medidas y el control de carga.

Considerando los requerimientos mencionados, que incluyen la capacidad de realizar diferentes procesos de forma simultánea, y la necesidad de diferentes interfaces de comunicación y visualización, la operación del equipo y sus características técnicas, se detallan a continuación:

a.1. Procesamiento de datos:

Se opta por elegir como unidad central de procesamiento (CPU) la plataforma de desarrollo Raspberry Pi 3 – Modelo B, que es un ordenador de placa reducida, que cuenta con módulos integrados de Wi-Fi y Bluetooth, con un puerto propio y uno HDMI para conexión de pantalla. Con un procesador ARMv8 de cuatro núcleos, de 1.2GHz a 64-bits, se considera adecuado para la ejecución del software del sistema. Se trabajó sobre la distribución de GNU/Linux Raspbian Jessie 4.4, y se le otorga la dirección IP al equipo, que tener la conexión al SCADA. Cabe mencionar que la extensa experiencia de la comunidad en esta tarjeta la hace un elemento confiable en el proyecto, pues se ha tenido diversas prácticas en proyectos de la llamada Internet de las Cosas con esta plataforma (Maksimovic, 2014) (Callagan, 2012).

a.2. Registro de medidas:

El equipo tiene capacidad de conexión de máximo 3 fases, de cada una se registra las medidas de tensión y corriente, es decir, 6 entradas. Al no contar con módulos convertidores de medidas analógicas a digitales (ADC) integrados en la CPU, se incluye la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) y monitoreo energético auxiliar con referencia ADE7880, que cuenta amplio número de datos y variables para sistemas trifásicos, con una alta resolución de muestreo, de 24 bits. Transfiere los datos de medidas a la CPU por medio del estándar de comunicaciones SPI, a una

velocidad de 250.000 muestras por segundo. Se logra, un período de muestreo de 4 microsegundos, para reconstruir señales de tensión y de corriente de 60Hz. Se determina como voltaje máximo de entrada 480 VAC por fase, que mediante un circuito de acondicionamiento de señal, se ajusta al valor máximo de entrada de la tarjeta correspondiente a 500 mV. Se destaca el motor de cálculo armónico incluido en el integrado de adquisición, permitiendo realizar un análisis de armónicos de hasta aproximadamente 2.8 kHz, correspondiente al armónico No. 46, para una frecuencia de 60 Hz, estándar en gran parte de Latinoamérica.

Para la toma de medidas de corriente, se establece como límite máximo un valor de 100 A, que es un poco más del consumo promedio de un bloque de la universidad. Se determina el uso de un sensor de efecto hall, con referencia SCT-013-000, que detecta y mide el campo magnético del conductor, sin necesidad de abrir el circuito. De igual manera se adecúa la salida voltaje de este sensor a la entrada de la tarjeta.

El sistema operativo se carga en una tarjeta microSD de 16 Gigabytes de Clase 10, que hace las veces de disco duro de almacenamiento. Siendo un parámetro configurable, puede almacenar datos periódicamente a partir de un segundo constantemente. Se permite la activación de un modo de análisis de energía, que registra las medidas al máximo de velocidad de muestreo de la tarjeta de adquisición.

A un muestreo constante de un segundo, se tiene capacidad de almacenamiento suficiente para veinte años de operación. Estas medidas se registran en una base de datos configurada en el motor mySQL, para un rápido acceso.

a.3. Control de carga:

Para realizar la apertura y reconexión del circuito, se opta por utilizar un circuito a base de tres Relés de estado sólido. Uno para cada fase, de modo que el control sea independiente. Estos se accionan mediante estados de corriente continua, con 0 V para el cero lógico, y de 4 a 32 VDC para el uno lógico, a una baja corriente. Esto permite la conexión a los pines digitales de la CPU a través de un circuito de amplificación de corriente.

a.4. Comunicación:

El dispositivo cuenta con tres canales de comunicación por los que se puede acceder a sus registros: Un puerto Ethernet, para conexión cableada a una red de área local (LAN); un módulo Wi-Fi para conexión inalámbrica a una LAN; y un módulo GPRS para envío de datos a un servidor por medio de la red celular. En el envío de datos por medio de estos canales, se implementó un cifrado para seguridad informática, explicado más adelante.

La integración al software de SCADA se implementa mediante los protocolos DNP3 (IEEE 1815), MODBUS e IEC 61850, siendo estos los más trabajados en la industria de las redes inteligentes

(Clarke, 2004). Se desarrolló la codificación de los mismos a partir de los documentos del estándar otorgado por IEEE-Power and Energy Society (2012), logrando establecer la conexión con Maestro-Esclavo con el software Survalent, que cuenta con licencia privada, adquirido por la universidad para la instalación de la microrred.

a.5. Datos y visualización:

El dispositivo, aparte de obtener medidas de tensión y corriente de tres entradas, se programó para calcular la frecuencia de las señales, y medidas de calidad de la energía, como son el Factor de Potencia y la Distorsión armónica (W. Mack, 1993). A partir de estas mediciones es posible derivar otras de calidad de Potencia, tanto activa (P) como reactiva (Q) y aparente (S); y considerando el tiempo de operación, se calcula de la Energía consumida por las cargas.

Para visualización de los datos registrados, el medidor cuenta con tres diferentes desarrollos para interfaz gráfica de usuario:

El primero, es la pantalla del dispositivo, que es un accesorio adaptable por el puerto nativo de la CPU para este fin. Este es un monitor LCD táctil de 7 pulgadas, de tipo capacitivo, con resolución de 800 x 480 píxeles y color RGB de 24 bits. Se consideró su uso debido a la buena calidad de imagen ofrecida, permitiendo la visualización precisa de datos directamente en el equipo. La imagen frontal del dispositivo se muestra en la *Figura 4*.

El segundo es una interfaz web para ser ejecutada remotamente desde un ordenador perteneciente a la misma red local. Este es un acceso con permisos de administrador, con ingreso solamente con las respectivas credenciales. El medidor implementa un pequeño servidor web, donde el usuario hace las veces de cliente, solicitando la conexión por medio de la dirección IP. Esta herramienta permite el control de las salidas del medidor, como el caso de la conexión de las cargas, como también la lectura de registros de las diferentes variables. De igual manera, permite la configuración del medidor y la descarga de informes de eventos.

El tercero, es un desarrollo web con el servidor de la universidad como host. En este se alberga una base de datos donde, por medio de un servicio web ejecutado, puede recibir los envíos de registros de cualquier medidor haciendo uso del módulo GPRS, por protocolo TCP/IP. Esta interfaz se implementó tras la necesidad de la conexión de un medidor fuera del rango de la red Wi-Fi de la universidad. Su ventaja es la posibilidad de la visualización de datos de los medidores sin necesidad de estar conectado a la red local, en virtud de que se conecta a internet.

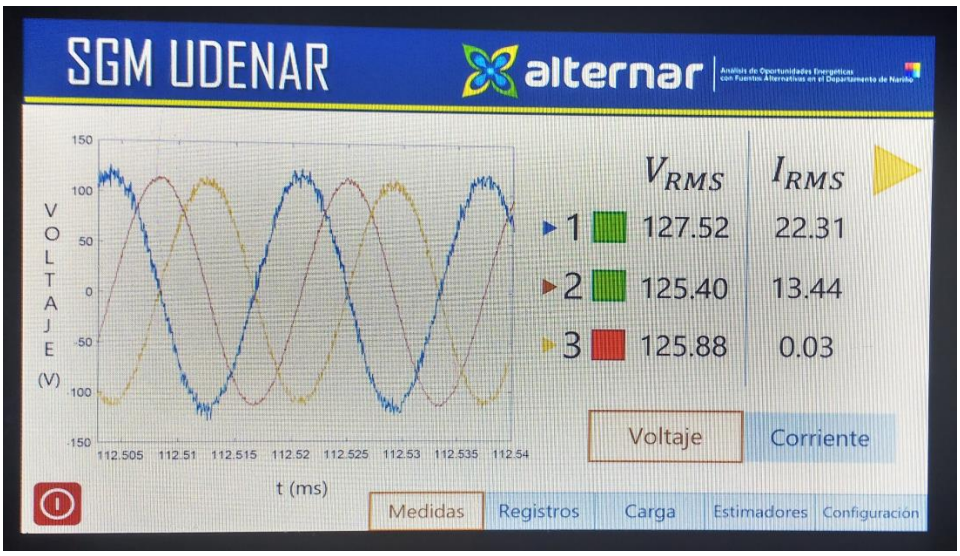


Figura 4. Imagen del dispositivo implementado. Se muestra la interfaz de usuario del equipo, evidenciando la conexión de tres cargas de baja tensión. Las dos primeras cuentan con flujo de corriente, y la tercera se ha suspendido.

La herramienta principal de recolección de información y de operación del sistema por parte del administrador es el software Survalent, que implementa eficientemente la interconexión de estaciones al sistema SCADA. Este sistema se define como un conjunto de elementos de hardware y software diseñados para la supervisión y control de proceso, que se apoyan en las facultades de comunicación de los dispositivos de campo, como son sensores y actuadores. Esta información está disponible para uno o múltiples administradores a través de una LAN, con el fin de que la información esté disponible en tiempo real para los actores involucrados en el sistema, desde los supervisores, pasando por los encargados de dirección de gestión, hasta los respectivos directores. (Boyer, 2009)

Este sistema es aplicable a diferentes modelos, y en este caso se aplica al eléctrico. Permite supervisar el proceso, obtener historiales de todas las variables involucradas, registros de alarmas, notificaciones por eventos y acceso a bases de datos. Desempeña funciones de supervisión y otras tareas adicionales referidas a calidad, mantenimiento y control de operación. Toda esta información es presentada en un solo ordenador, facilitando su visualización y gestión desde distintos niveles y se encuentra ubicado en los laboratorios de la Universidad de Nariño.

b. Ciberseguridad en la red

En un estudio detallado por Fovino (2011) realizado por el Instituto para la Protección y la Seguridad de los Ciudadanos (IPSC, por sus siglas en inglés) como resultado de un estudio experimental se han identificado varias vulnerabilidades de seguridad en los protocolos de comunicación SCADA. En muchos casos está dado por la obsolescencia de equipos antiguos,

sistemas operativos desactualizados (Windows NT 3.0/4.0, Windows 3.11, SCO-UNIX) y, además, sin parches de seguridad. Todo esto los convierte en objetivo fácil de vulnerar.

Los protocolos comunicación en un SCADA, como Modbus, IEC 61850 y DNP3, son utilizados para controlar el flujo de energía entre nodos de conexión además de otras cosas, aunque no hacen ninguna comprobación de seguridad. Un mensaje típico de comunicación, utilizando Modbus, por ejemplo, contiene la dirección del receptor, la orden a ejecutar y la información necesaria para que se ejecute. El estudio ilustrado por Tonyali (2016), demostró la elevada cifra de 3 mil intentos de exploración y cerca de 2 mil ataques de denegación de servicio en varios protocolos de comunicación de sistemas Físicos - cibernéticos industriales (CPS). El bajo nivel de seguridad se debe a que, cuando estos protocolos fueron desarrollados no era necesario realizar ninguna comprobación de identidad de la conexión o de la integridad de la información intercambiada, y solucionar en este momento estas vulnerabilidades, en la mayoría de los casos representa la suspensión de los servicios o un gasto de dinero desmesurado.

La ciberseguridad en una Smart Grid requiere del uso de los mejores métodos de protección contra ataques cibernéticos o *hacking* (Jiao, 2016), donde el principal objetivo es garantizar una base sólida de defensa en entornos críticos. Estar al día de los riesgos en ataques informáticos permite conocer a la perfección las medidas adecuadas para mitigar estos factores y, sobretodo, tener habilidades de comunicación para la gestión de los equipos “medidores inteligentes”. Esto es imprescindible para el establecimiento de un sistema de gestión de incidencias de ciberseguridad continuo, que tiene como principal ventaja la posibilidad de recuperar el sistema de cualquier incidente de manera eficaz y eficiente (Yan, 2016).

El sistema desarrollado garantiza la identificación, autenticación, y autorización en el acceso al medidor inteligente, y la codificación de los paquetes de información enviados desde cada módulo de tele-medida hasta el operador maestro (operador de red) y viceversa.

Referente a la infraestructura eléctrica y demanda de energía eléctrica, existe una amplia gama de factores que conllevarían un ataque cibernético: empleados, consumidores o proveedores descontentos; agencias de inteligencia extranjeras; la competencia; organizaciones de crimen organizado; terroristas e incluso extorsionadores. Los objetivos del ataque también tienen múltiples facetas: provocar remotamente la interrupción del servicio de energía eléctrica de un usuario, de un grupo o de una industria; dejar fuera de servicio un medidor mediante un ataque DoS con el objetivo que el operador de red no pueda recoger los datos; capturar los datos de los medidores para vender o sacar beneficio económico de su uso.

En este aspecto, en la presente investigación se implementó un sistema de seguridad referente a la comunicación de información usando un cifrado simétrico AES 128 bits, teniendo como base una implementación e integración en la microrred.

c. Gestión de información

Aprovechando los grandes volúmenes de datos creados por la microrred, junto con la información disponible a través de los servicios de terceros, se permite una gestión moderna de información que incluye procesamiento y análisis datos de forma inmediata y adaptable a los diferentes intervalos de tiempo procesados. En la *Figura 5* se detalla la amplitud del análisis y su alcance dependiendo del período de muestreo distinguido. El presente sistema posee capacidad de abordar todos los periodos de la imagen, pero en el caso de estudio se presenta una predicción asociada al análisis por días.

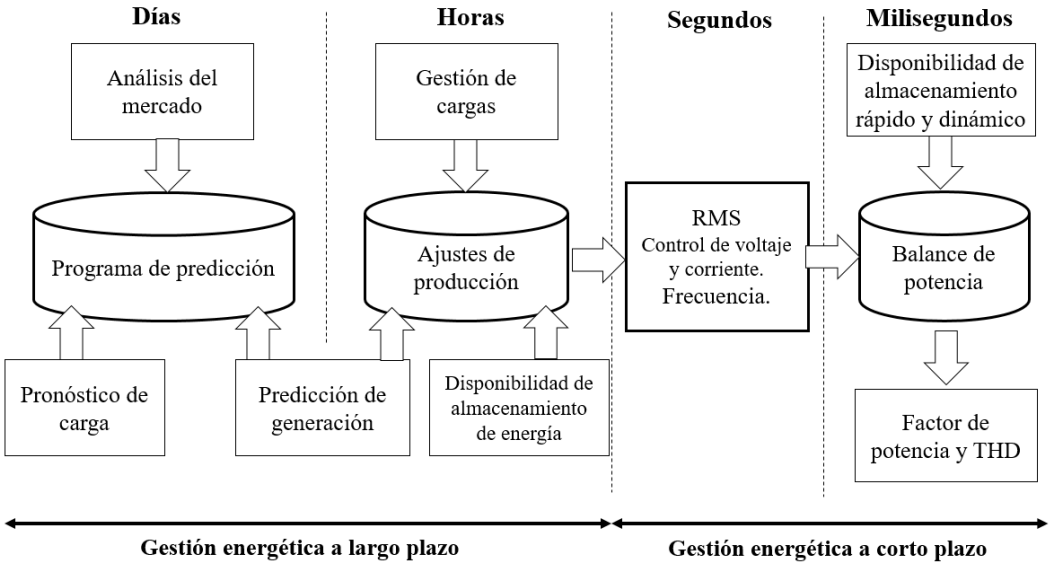


Figura 5. Clasificación por períodos de tiempo de funcionalidades de control para EMS.

3. Resultados y discusión

A. PRIMER CASO DE ESTUDIO: Estimación de la Demanda de Energía para ser aplicado en la Microrred.

Para el caso de estudio, se hizo uso de una extensa base de datos facilitada por el operador de red Centrales Eléctricas de Nariño-Colombia (CEDENAR), la cual contiene registros desde el año 2009 hasta la fecha actual, con un periodo de muestreo de 1 hora.

En el proceso de estimación de energía (KWh), se decidió, en primera instancia, formar subconjuntos de posibles patrones de comportamiento, que de ahora en adelante se llamarán *eventos.* Para ello se tuvo en cuenta la base de la energía eléctrica histórica, las demandas de producción, la situación del tiempo (temperatura, nubosidad, etc.), la actividad económica (grandes modificaciones de previsión de cargas son necesarios durante los períodos de vacaciones), de trabajo estándar, horas, entre otros.

Métodos "clásicos" de previsión de cargas se basan en información meteorológica y los datos históricos de consumo de energía, con esta base de datos se creó un perfil de predicción de Potencia ($\tilde{P}_{P_{24h}}\ KW$), con una resolución de horas.

Para la estimación de la energía, se considera el punto de tiempo inicial como el inicio del día (t_0), y la duración del día se ha nombrado (Δt). Ambos parámetros dependen de la temporada y las condiciones del clima.

Con el fin de ilustrar los resultados teóricos, se escogieron dos días que cambian el comportamiento de demanda de energía eléctrica, debido a que uno es laboral y el otro festivo. Haciendo uso de la expresión matemática (1), se estimó el consumo para los dos días registrados; los resultados obtenidos se pueden ver en la Figura 6, con un error de estimación menor al 2%.

$$\tilde{E}PE_h = \int_{t_0+nT_e}^{t_0+(n+1)T_e} \tilde{P}_{P_{24h}}(t)dt$$

$$= (T_e)\tilde{P}_{P_{24h}}(t_0 + nT_e) \qquad (1)$$

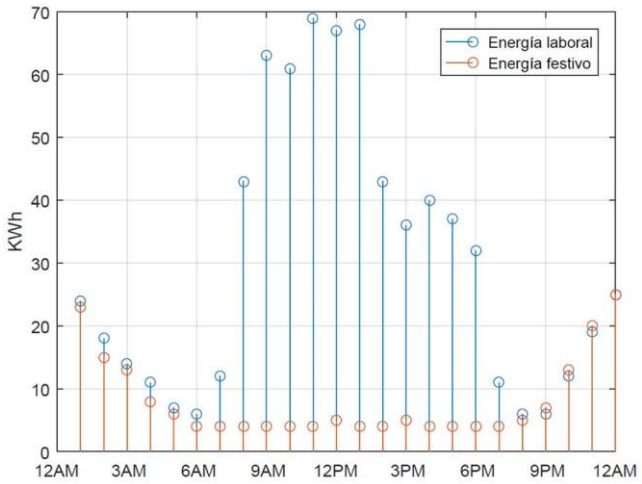


Figura 6. Perfil de consumo horario de energía eléctrica para dos días en la frontera de la subestación de Rio Mayo. Centrales Eléctricas de Nariño.

A partir de este estudio, para el diseño de la microrred en la Universidad de Nariño, inicialmente se realizó un diagnóstico de la red actual y de los cambios que deberían hacerse para su evolución a una red inteligente. Por esto, se tomó datos de consumo y estimaciones de cargas en la red de media y baja tensión, a fin de proponer un modelo de red para realizar el análisis de los flujos de potencia, pérdidas y posibles medidas de eficiencia energética. Las estimaciones y modelos han sido validados a partir de mediciones realizadas con analizadores de red en cada transformador por un periodo de tiempo superior a ocho días, caracterizando la demanda en diferentes días.

B. SEGUNDO CASO DE ESTUDIO: Sistema de Gestión de Medida UDENAR:

El sistema de Gestión de Medida implementado en la Microrred de la Udenar (Universidad de Nariño), incluyó la construcción e instalación de medidores inteligentes en distintos puntos de flujo energético en la Universidad de Nariño, junto a otros medidores comerciales de distintas marcas adquiridos previamente para el proyecto.

Estos puntos de medida se conectan a través una red de área local dispuesta especialmente para este fin, permitiendo la comunicación directa con el software de SCADA. Esto hace posible la interrogación directa e instantánea de medidas tomadas por los dispositivos y el control de sus cargas. Debido a una mayor estabilidad en su funcionamiento durante las pruebas, mayor seguridad, y su estandarización en el medio de red inteligente, se determinó utilizar solamente el protocolo DNP3, tanto en el medidor diseñado como en los medidores adquiridos comercialmente. En la *Figura 7* se observa una captura de pantalla del software SCADA, con conexión a dos medidores, registrando valores de tensión y potencia, enlazados con el protocolo DNP3. Si bien desde este espacio no se puede realizar el análisis de calidad de energía “en línea”, por el contrario, con la plataforma desarrollada del Sistema de Gestión de Medida, o en la pantalla directa del medidor, sí se puede analizar las señales para realizar estudios de calidad de la potencia en la microrred, además, permite la descarga de los históricos de medidas que se encuentran registrados en la base de datos.

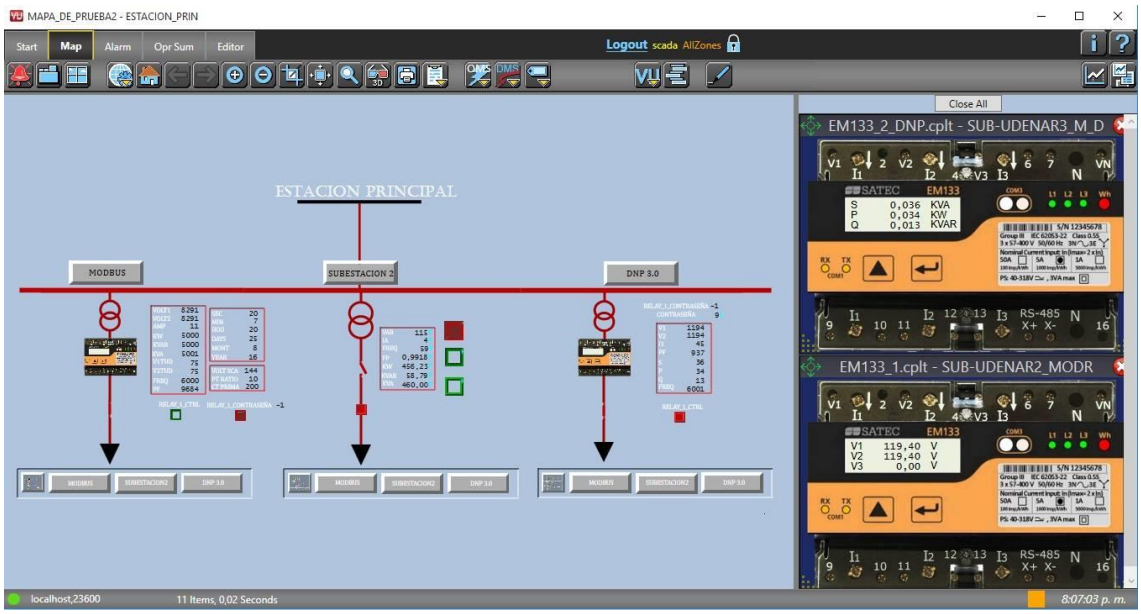


Figura 7. Captura de pantalla de software para gestión de microrred y SCADA Survalent.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados del proyecto muestran la contribución efectiva de los recursos financiados por el proyecto ALTERNAR para la investigación aplicada a las microrredes inteligentes, en especial en la infraestructura de medida avanzada y en el tratamiento de la información. Para esto, se desarrolló un sistema funcional de tele-medida con tecnología moderna en redes inteligentes, acorde a los sistemas utilizados actualmente en la industria energética. Además, tiene la ventaja de que es un dispositivo versátil en su operación porque se integra a los sistemas SCADA comerciales, y que puede ser monitoreado desde diversas plataformas.

En el Sistema de Gestión de Medida propuesto, se incorpora el uso de un método de encriptación de seguridad avanzando que está relacionado directamente con el hardware que se disponga, para asegurar la información en la Microrred de la Universidad de Nariño. Por lo general, un ataque cibernético es del tipo DoS, que busca como punto débil la sobrecarga del hardware, dejando vulnerable el sistema por cortos periodos de tiempo, pero suficiente para causar daños en toda la arquitectura informática de la red inteligente. Además, se propone la estimación de demanda de energía como herramienta base de gestión de la microrred inteligente.

Como trabajo futuro se busca implementar una defensa efectiva contra estos ataques, mediante técnicas de encriptación de datos. También se considera la programación de otros protocolos existentes para la administración de este tipo de redes, de modo que el sistema sea compatible con diferentes softwares. Otro trabajo interesante por abordar, es el diseño de diferentes versiones del medidor, más económico con la producción de hardware propio, especialmente en elementos costosos, como la pantalla táctil o la tarjeta de adquisición.

Bibliografía

Farhangi, H. (2010). *The path of the smart grid*. IEEE power and energy magazine 8.1 p.18-28.

Ipakchi, A. and Farrokh A. (2009). Grid of the future. IEEE Power and Energy Magazine 7.2: p. 52-62.

Chen, Changsong, et al. (2011). *Smart energy management system for optimal microgrid economic operation*. IET renewable power generation 5.3 p. 258-267.

Hart, David G. (2008) *Using AMI to realize the Smart Grid*. 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century.

Maksimović, Mirjana, et al. (2014). Raspberry Pi as Internet of things hardware: performances and constraints. IcETRAN 2014.

Callaghan, V. (2012). *Buzz-boarding; practical support for teaching computing, based on the internet-of-things*. 1st Annual Conference on the Aiming for Excellence in STEM Learning and Teaching, Imperial College, London & The Royal Geographical Society.

Clarke, G. R., Reynders, D., & Wright, E. (2004). *Practical modern SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems*. Newnes.

IEEE Power and Energy Society. (2012). *IEEE Standard for Electric Power Systems Communication – Distributed Network Protocol (DNP3).* New York, USA.

Grady W. M., Gilleskie R. J. (1993) *Harmonics and how they relate to power factor*. Proceedings of the EPIR Power Quality Issues & Opportunities Conference. November.

Boyer, Stuart A. (2009) *SCADA: supervisory control and data acquisition*. International Society of Automation.

Fovino, I. N., Coletta, A., Carcano, A., & Masera, M. (2012). *Critical state-based filtering system for securing SCADA network protocols*. IEEE Transactions on industrial electronics, 59(10), 3943-3950.

Tonyali, S., Cakmak, O., Mahmoud, M., & Guvenc, I. (2016) *Secure Data Obfuscation Scheme to Enable Privacy-Preserving State Estimation in Smart Grid AMI Networks*. IEEE Internet of Things Journal.

Jiao, Z., Gong, H., & Wang, Y. (2016) *A DS Evidence Theory-based Relay Protection System Hidden Failures Detection Method in Smart Grid*. IEEE Transactions on Smart Grid.

Yan, J., He, H., Zhong, X., & Tang, Y. (2016) *Q-learning Based Vulnerability Analysis of Smart Grid against Sequential Topology Attacks*. IEEE Transactions on Information Forensics and Security.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.315 - 328
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Metodologías Sugeridas de Evaluación y Selección de Software de Arquitectura Empresarial para la Digitalización del Conocimiento

(Suggested Methodologies for Evaluation and Selection of Enterprise Architecture Software for Knowledge Digitization)

Oswaldo Moscoso-Zea[1], Sergio Lujan-Mora[2]

Resumen:
La gestión del conocimiento (GC) es una práctica de administración que permite la creación, uso, distribución y transferencia del conocimiento en organizaciones. Existen marcos de referencia de GC que incluyen componentes de inteligencia de negocios o de arquitectura empresarial (AE) para la implementación de proyectos de GC en organizaciones. Las herramientas de AE son usadas para digitalizar, relacionar y visualizar varias dimensiones de conocimiento como son: estructura organizacional, procesos de negocio, aplicaciones e infraestructura tecnológica. Este artículo tiene como objetivo evaluar el rol de la AE como componente clave de la GC y sugerir metodologías que pueden ser usadas para evaluar herramientas de software de AE. Para esto se realizó una revisión bibliográfica de las metodologías de evaluación de software existente en el mercado y se eligieron aquellas que pueden ser adaptadas para el campo de la AE. Está investigación fue cualitativa y exploratoria a través de un caso de estudio desarrollado en un proveedor de servicios logísticos con presencia internacional. El caso de estudio muestra el proceso realizado para elegir la metodología de evaluación. Además, se describen los pasos para la digitalización del conocimiento organizacional.

Palabras clave: Gestión del Conocimiento; Arquitectura Empresarial, Metodología de Evaluación de Herramientas de Arquitectura Empresarial.

Abstract:
Knowledge Management (KM) is a practice that allows the creation, use, distribution and transfer of knowledge in organizations. Different KM frameworks exist that include business intelligence or enterprise architecture (EA) components for the implementation of KM in organizations. EA tools are used to digitize, relate and visualize the following dimensions of knowledge: organizational structure, business processes, applications and technology. The objective of this paper is to assess the role of EA as a key component in KM and to suggest software evaluation methodologies that can be adapted for the field of EA. For this, an investigation was realized to identify the existing software evaluation methodologies in the market and to filter those that can be adapted for the field of EA. The methodology used for the research was qualitative and exploratory using a case study performed in an international logistic service provider. The case study describes the process done for the selection of the evaluation methodology. Furthermore, it describes the steps for knowledge digitization.

Keywords: Knowledge Management; Enterprise Architecture; Evaluation of Enterprise Architecture Tools.

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (omoscoso@ute.edu.ec)
[2] Universidad Alicante, Alicante – España (sergio.lujan@ua.es)

1. Introducción

La innovación en la ciencia y en la tecnología ha dado lugar a organizaciones sólidamente basadas en la información. Estas organizaciones requieren transformar esta información en conocimiento para asegurar su competitividad y para mejorar la toma de decisiones. La gestión del conocimiento (GC) es una disciplina en evolución que apoya en la creación, uso, distribución y transferencia del conocimiento en las organizaciones (Campbell, 2006).

Las principales dimensiones que se deben analizar en un proyecto de GC son las personas, los procesos y la tecnología (Edwards, 2011). En un estudio previo realizado como parte de un proyecto de investigación, se propuso un marco de referencia de GC (Moscoso-Zea, Luján-Mora, Schweimanns, & Esquetini, 2016). Este marco de referencia fue creado con el propósito de guiar y conducir la implementación de proyectos de GC en organizaciones, para asegurar la captura del conocimiento implícito y explícito de las tres dimensiones previamente mencionadas.

Lo innovador de este marco es que incorpora dos prácticas de gestión como son la inteligencia de negocios y la arquitectura empresarial (AE). En este artículo nos centraremos en revisar el rol de la AE como un componente clave para la GC y detallaremos cuáles son las herramientas tecnológicas de AE que existen en el mercado. Además se propone un enfoque de evaluación y selección de herramientas de AE. En los últimos años la AE se ha convertido en una de las temáticas más importantes a considerar en los estudios de sistemas de información y ha evolucionado hasta convertirse en una tarea esencial de gestión de negocios, por lo cual es vital un análisis más profundo (Bricknal, Darrell, Nilsson, & Pessi, 2011).

El artículo está estructurado de la siguiente forma. En la sección 2 se define la GC, la AE y las herramientas de AE. En la sección 3 se presentan los resultados de la investigación con un caso de estudio realizado en una organización internacional privada. El caso de estudio resalta como la AE puede apoyar a la GC y como se debería llevar un proceso de selección y evaluación de software o de herramientas de AE. Finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación en la sección 4.

2. Marco teórico

En esta sección se presenta la investigación bibliográfica realizada para este trabajo.

2.1 Gestión del conocimiento

El conocimiento es uno de los recursos claves que puede fortalecer el posicionamiento de una organización (Curado, 2006). Un recurso debe ser valioso, raro e imperfectamente imitable con el fin de que la organización pueda mantener una ventaja competitiva (Wernerfelt, 1984). El conocimiento organizacional cumple con estas características; por lo tanto, debería ser recolectado y gestionado eficientemente. El conocimiento puede ser definido como experiencias,

hechos, procesos y creencias que incrementan las capacidades individuales u organizacionales (Karemente, Aduwo, Mugejjera, & Lubega, 2009).

La GC es “el proceso de identificar, recolectar y aprovechar el conocimiento colectivo de una organización para potenciar a que la organización compita” (Alavi & Leidner, 2001). Adicionalmente, la GC “se ocupa de la explotación y el desarrollo de los activos de conocimiento de una organización con el fin de cumplir con los objetivos de la organización” (Rowley, 2000). Las razones críticas para realizar GC son: rotación de personal, sobrecarga de información, incremento en la necesidad de personal experto, mejoramiento en la toma de decisiones y digitalización del conocimiento organizacional.

De las definiciones se derivan dos tareas esenciales que son necesarias para implementar la GC. Primero, se necesita establecer la infraestructura tecnológica que facilite capturar y compartir el conocimiento; segundo, se requiere establecer mecanismos y procedimientos para digitalizar el conocimiento tácito de las personas y los procesos. Estas dos tareas abarcan las dimensiones del conocimiento que son: personas, procesos y tecnología.

2.2. Arquitectura empresarial

En la actualidad no existe unanimidad en la definición de AE. Una de las razonas para que no exista acuerdo en una definición estándar podría ser porque la práctica de AE se encuentra todavía en una etapa de evolución (Ivanov, 2009). De acuerdo a Lankhorst (2009) “AE es un conjunto coherente de principios, métodos y modelos que son usados en el diseño, realización y mantenimiento de las arquitecturas de negocio, estructura organizacional, arquitectura de información y arquitectura tecnológica con respecto a la estrategia corporativa”. Otra definición de AE es dada por Gartner (2013) “AE es el proceso de traducir la visión del negocio y su estrategia en un cambio empresarial efectivo por medio de crear, comunicar y mejorar los requerimientos clave, los principios y modelos que describen el estado futuro de la empresa y permiten su evolución”. Esta es la definición que usaremos en este documento.

Como vemos en las dos definiciones, la AE va más allá de la alineación de las tecnologías de información con el negocio. AE se refiere a la necesidad de gestionar la creciente complejidad organizacional y el cambio continuo, proveyendo una visión holística de la organización. La AE se la considera como una herramienta de gestión crucial para la alta dirección de las empresas. La AE permite que los ejecutivos asuman su responsabilidad en el manejo, control y guía en las transformaciones basados en la visibilidad y evidencia que esta otorga (Proper & Lankhorst, 2014). Además, la AE permite mejorar el desempeño de las organizaciones ya que resuelve el problema de otorgar valor a través de sus sistemas de información (de Vries & van Rensburg, 2008). La *Figura 1* muestra una pirámide con los niveles organizacionales (dominios empresariales) como son: gente, aplicaciones, negocio y tecnología. Las flechas circulares

secuenciales describen el proceso para implementar AE: obtener la aceptación y el apoyo ejecutivo, establecer una estructura de gestión y control, definir el enfoque de arquitectura, desarrollar la línea base y futura de AE, desarrollar el plan de secuencia, uso y mantenimiento de AE.

Uno de los elementos clave para la implementación de AE es el uso de un marco de arquitectura. El organismo The Open Group (2011) describe muy bien a un marco de arquitectura como: “la estructura base o un conjunto de estructuras que pueden ser usadas para desarrollar distintos tipos de arquitecturas. Debe describir un método para diseñar el estado futuro de una organización en términos de un conjunto de bloques de construcción, y para indicar como estos bloques de construcción interactúan juntos. Debería contener un conjunto de herramientas que otorgan un vocabulario en común. También debería contener una lista de estándares recomendados y productos compatibles que se pueden usar para implementar los bloques de construcción”. Un *framework* sirve para guiar el esfuerzo (operacional) o para estructurar la información organizacional (conceptual) (D. Matthes, 2011). Como se puede ver, los marcos de AE proveen un conjunto de guías y mejores prácticas para la implementación y mantenimiento de AE.

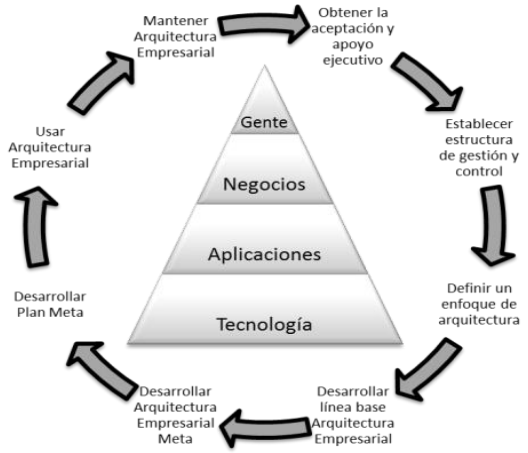


Figura 1. Arquitectura Empresarial. Basado en: (Tucker & Debrosse, 2003)

2.3 Herramientas de arquitectura empresarial para la gestión del conocimiento

La realización de una AE requiere definir algunas actividades: diagnosticar el estado actual de la organización, la hoja de ruta para lograr la misión, la visión y la definición del estado futuro de la organización. Todas estas actividades aportan a la generación de la inteligencia empresarial y son fuentes de nuevo conocimiento.

AE es esencial para organizaciones que requieran adquirir nuevo software para optimizar su valor de negocio y digitalizar el conocimiento. Además, AE apoya el entendimiento y mejora las interrelaciones entre las dimensiones de conocimiento como son: las personas, los procesos de negocio, los sistemas de información y la infraestructura tecnológica (Schekkerman, 2011).

Hoy en día las organizaciones que no cuentan con un departamento de AE tienen el riesgo de desarrollar o comprar sistemas duplicados, incompatibles, innecesarios o muy costosos de mantener y, lo más crítico, que no estén alineados a la estrategia corporativa. Una meta esencial para que la AE agregue valor a la organización es que su desarrollo, mantenimiento, implementación y visualización sean apoyados con las herramientas de AE correctas.

Las herramientas de AE son paquetes de software para la visualización y análisis de las relaciones existentes entre los distintos componentes organizacionales (Iacob, Jonkers, Quartel, Franken, & van den Berg, 2013). Para poder elegir la herramienta de AE adecuada se requiere realizar un análisis previo de las necesidades de los interesados, crear una lista de posibles proveedores de estas herramientas, evaluar las herramientas versus las necesidades y especificaciones del cliente y tomar la decisión de compra.

Las herramientas de AE pueden guiar a los ejecutivos de tecnologías de información y comunicación (TIC) y del negocio a dirigir una organización basados en el conocimiento. El conocimiento se genera al crear un mapa de todas las interacciones existentes en los componentes de la organización y al analizar exhaustivamente las capacidades y oportunidades de esas relaciones. Esto sirve para tomar decisiones acertadas en la gestión del portafolio de aplicaciones o de infraestructura tecnológica. Adicionalmente, las herramientas de AE pueden ayudar a impulsar la colaboración entre los profesionales de TIC y del negocio. En otras palabras la AE apoya a los directivos en realizar las actividades empresariales que son necesarias de una forma adecuada y con un riesgo mínimo.

3 Metodología y resultados

El objetivo de esta investigación es otorgar claridad a las organizaciones para que puedan elegir una metodología adecuada que podría usarse para seleccionar software de AE. Con una selección correcta se proyecta contar con una herramienta que permita gestionar el conocimiento organizacional y que se integre al software existente. El método usado en este trabajo se basa en la realización de un caso de estudio en una organización logística. Esta organización tiene la necesidad de adquirir una herramienta de AE que le permita digitalizar su conocimiento. Además, en este artículo se detallan estudios que listan las varias herramientas de AE que existen en el mercado y se presenta un enfoque para la digitalización del conocimiento organizacional.

Uno de los mayores desafíos de AE es el de ser capaz de proveer soporte a las decisiones de acuerdo a las metas y estrategias. En este contexto el análisis de los modelos que entrega la AE otorga la visibilidad necesaria para la toma de decisiones acertadas. Además, analizar los modelos de AE con las herramientas adecuadas puede ser clave para la creación de conocimiento explícito (Johnson, Lagerstrom, Narman, & Simonsson, 2007).

Los modelos de AE describen la gente, los procesos de negocio, las aplicaciones y la infraestructura organizacional y las relaciones entre sí. Estos modelos son equivalentes a mapas y constituyen los elementos clave para entender, analizar y diseñar una organización, sus sistemas de información y su infraestructura tecnológica. Por lo tanto, estos modelos son fundamentales para la creación y la GC (Narman, Johnson, & Nordstrom, 2007).

El conocimiento que generan las organizaciones se encuadra en tres dimensiones: personas, procesos y tecnología. Una de las tareas más importantes de la GC es buscar mecanismos para traducir y capturar el conocimiento tácito que reside en las personas y en los procesos y convertirlo en conocimiento explícito que pueda ser observado o analizado a través de medios digitales, es decir que las habilidades, capacidades (*know-how*) de las personas pueda ser transferido a futuros empleados lo cual reduciría los costos de rotación de personal. Es ahí donde radica la importancia de la AE ya que esta herramienta permite cumplir con este objetivo. Por otro lado, se encuentra la información que es capturada de los sistemas operacionales del negocio. Esta información requiere de un análisis exhaustivo aplicando diferentes técnicas de minería de datos o inteligencia de negocios para obtener conocimiento.

Caso de Estudio

Está investigación fue realizada en cooperación con un proveedor de servicios logísticos (PSL) con presencia internacional. El objetivo principal del estudio fue el de evaluar y seleccionar una herramienta de AE que permita digitalizar el conocimiento en este PSL. Las actividades realizadas, validadas y que se sugieren realizar para la digitalización del conocimiento en una organización son las siguientes:

1. Análisis de departamentos e interesados.
2. Evaluación y selección de la herramienta de AE.
3. Digitalización del conocimiento.
4. Mejora de los procesos.

3.1 Análisis de departamentos e interesados

El PSL donde se realizó el caso de estudio es una empresa con presencia a nivel mundial. La identificación de los interesados puede llevarse a cabo usando la matriz de poder–interés (Ackermann & Eden, 2011). Esta matriz apoya la decisión de los interesados que deben ser entrevistados de acuerdo al interés y poder que tengan en el proyecto. La matriz se muestra en la *Figura 2*.

Esta matriz tiene 4 cuadrantes donde se deben ubicar los interesados. Por ejemplo, para la digitalización del conocimiento del departamento de software, el programador tendría un alto

interés pero un poder mínimo en las decisiones que se tienen que tomar. Por lo cual, se lo debería ubicar en el cuadrante alto interés y bajo poder (Mantener Informadas). Al ubicarlo en este cuadrante podemos gestionar mejor las comunicaciones con el interesado y podremos saber si es un recurso clave para las entrevistas de levantamiento y digitalización de procesos. Los principales interesados identificados en el proyecto son los arquitectos de negocio y tecnología.

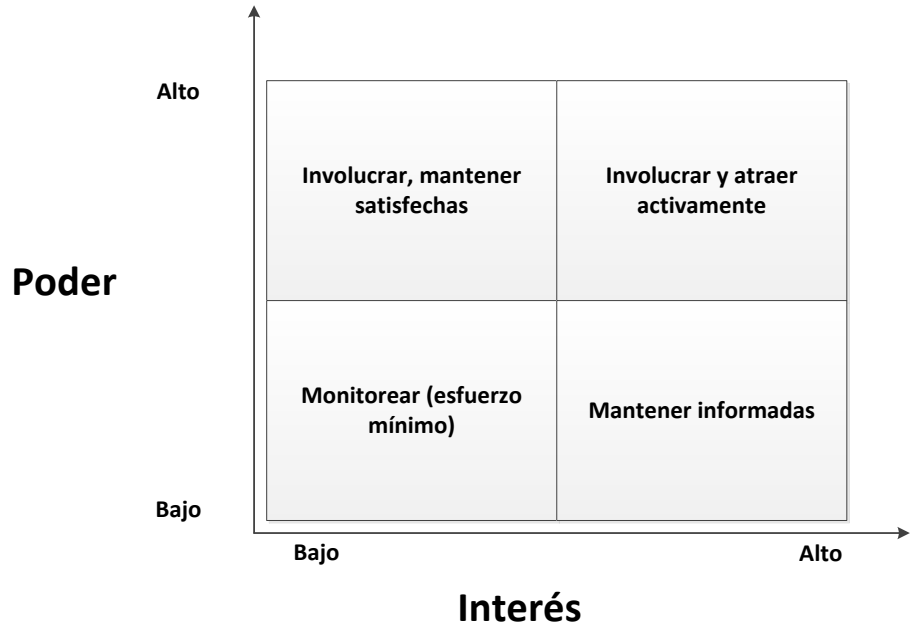


Figura 2. Matriz de interesados poder-interés

Algunos de los requerimientos de los interesados para el software de AE fueron:

1. La herramienta de software de AE debe ser considerada como líder en el mercado.

2. La herramienta debe proveer fuertes capacidades para la integración con los sistemas de información existentes.

3. La herramienta debe proveer fuertes capacidades de análisis y reportes

3.2 Evaluación y selección de herramienta de arquitectura empresarial

Es importante empezar la evaluación realizando una investigación bibliográfica para identificar las herramientas de AE existentes en el mercado. Las herramientas de AE permiten digitalizar el conocimiento al poder transformar el conocimiento implícito en modelos que describen las estructuras organizacionales (personas), los procesos del negocio, las aplicaciones y la tecnología. La mayoría de las herramientas de AE se basan en el estándar Archimate (Schekkerman, 2011). El lenguaje Archimate permite diseñar arquitecturas en diferentes dominios y la creación de relaciones entre los distintos objetos de la organización.

En el caso de estudio realizado se identificaron las siguientes fuentes que listan herramientas de AE: encuesta de herramientas de gestión de AE de la Universidad Técnica de Münich (F. Matthes, Buckl, Leitel, & Schweda, 2008), la guía de selección de herramientas de AE del Instituto de Desarrollo de AE (Schekkerman, 2011) y la encuesta de herramientas de AE de la empresa Syracom (Knoll & Schulz, 2013). En total se identificó 46 posibles herramientas de AE. Adicionalmente, existen algunas iniciativas de evaluación de herramientas de AE que nos permiten tener indicadores de cuál podría ser la herramienta adecuada para gestionar el conocimiento en nuestra organización.

Dos fuentes reconocidas de evaluación son: el cuadrante mágico de Gartner (en inglés Gartner Magic Quadrant) y la curva de Forrester (en inglés Forrester Wave). En el cuadrante mágico de Gartner del año 2016 se destaca como líderes a: Mega, Alphabet y Bizzdesign Enterprise Studio (Gartner Inc., 2016). En cuanto a la curva de Forrester, la última publicada es del 2015, la misma ubica a Alphabet y a Orbus software como líderes (Forrester Research, 2015).

Posterior a esto se debe realizar un preprocesamiento, limpieza y filtrado de información para descartar aquellas herramientas que hayan salido del mercado y aquellas cuyas empresas comercializadoras hayan sido adquiridas o fusionadas. Como resultado de esta fase se debe obtener una lista larga de herramientas que serán evaluadas. La lista larga depende de la cantidad total de herramientas existentes en el mercado, para el campo de AE esta puede ser de unas 10 herramientas que se ajusten a los requisitos generales. Para realizar esta evaluación se recomienda usar una metodología de evaluación de software.

Después de investigar las metodologías de evaluación de software que fueron presentados dentro una revisión muy completa por (Jadhav & Sonar, 2009), se pudo detectar que no existe una metodología específica para la evaluación de herramientas de AE. Es por esto que se analizaron y clasificaron aquellas metodologías que podrían ser utilizadas para la evaluación de herramientas de AE. Está clasificación se basó en los 52 artículos presentados por Jadhav & Sonar en su artículo.

El trabajo realizado por (Jadhav & Sonar, 2009) fue el de reducir de 130 a 52 artículos con metodologías de evaluación de software. Esta reducción se realizó en tres pasos. En el primer paso se analizaron los resúmenes de los artículos para descartar aquellos que no fueran relevantes y que no presentasen metodologías completas de evaluación. En el segundo paso se aplicó un filtro en el proceso de extracción de datos para eliminar aquellos artículos que no cumplían con los requerimientos de evaluación de software. En el paso final se descartaron aquellos artículos que describían sistemas o herramientas automáticas de evaluación ya que se salían del alcance de la investigación.

En un trabajo posterior realizado como parte de esta investigación se redujo el número de artículos de 52 a 14. El criterio de reducción fue el siguiente: descartar las metodologías que se concentran en la evaluación y selección de productos específicos de software ya que la meta de este artículo es sugerir una metodología general que pueda ser adaptada al campo de AE. La especificidad fue primordialmente encontrada en dos categorías: 1. tipo de software (herramientas de ingeniería de software asistido por computador, software de simulación, paquetes de ERP, etc.) y 2. tamaño de la compañía. Las 14 metodologías seleccionadas después de este proceso se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Metodologías de evaluación de software no específicas

Autor(es)	Año	Tipo de Software
Bhuta y Boehm	2005	Componentes de Software Comercial
Comella-Dorda et al	2004	Software Comercial
Franch y Carvallo	2003	Paquetes de Software
Kontio et al	1995	Software Comercial
Kunda	2003	Componentes de Software Comercial
Lawlis et al.	1997	Software Comercial
Lee et al	2003	Selección de Software
Leung et al.	2002	Software Comercial
Morera	2002	Software Comercial
Morisio y Tsoukias	1997	Software Comercial
Oh and Lee	2003	Componentes de Software Comercial
Sanders et al.	1983	Paquetes de Software de Computación
Toshtzar	1988	Software de Computación
Welzel y Hausen	1993	Producto de Software

En una etapa consecuente se analizó detalladamente los resúmenes de los 14 artículos resultantes. Durante esta fase otro grupo de artículos fue descartado. Los criterios usados para descartar los artículos fueron los siguientes: artículos que no incluían una metodología de selección, artículos que requerían análisis de otros componentes organizacionales y artículos que requerían de un ambiente complejo de evaluación por ejemplo: muchos evaluadores, evaluación de todas las herramientas del mercado, evaluación de la arquitectura del sistema, creación de modelos de evaluación basados en la organización, artículos basados en microprocesamiento y microprogramación. Luego de excluir los artículos con los filtros previamente mencionados, la lista final de artículos con metodologías que son consideradas para la evaluación y selección de herramientas de AE se redujo a tres como se muestra en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Metodologías de evaluación de software para AE

Autor(es)	Año	Tipo de Software
(Comella-Dorda et al., 2004)	2004	Software Comercial
(Kontio, Chen, & Limperos, 1995)	1995	Software Comercial
(Morera, 2002)	2002	Software Comercial

Para evaluar y seleccionar una herramienta de AE es importante formar un equipo de evaluación que conozca del negocio y los objetivos que se busca con AE. Además, es muy valioso que el equipo de evaluación conozca de la infraestructura tecnológica ya que se puede integrar bases de datos de gestión de configuración de infraestructura en inglés *Configuration Management Database* (CMDB) y software de gestión de procesos con la nueva herramienta de AE lo que disminuirá el tiempo de modelamiento e implementación de las arquitecturas a futuro. Se sugiere elegir una de las metodologías de la Tabla 2 de acuerdo a las necesidades de evaluación y a la comparación realizada en la Tabla 3. Como se puede ver en la tabla 3 se compara si la metodología presenta una técnica para definir criterios, Comella Dorda et al. y Kontio et al. proponen el uso de la técnica conocida en el inglés como *Goal Question Metric* (GQM), está técnica permite orientar de mejor manera las metas o criterios que se buscan en una evaluación. Otros parámetros que se comparan son las técnicas de evaluación, metodologías de selección, esfuerzo de implementación y si describen o presentan plantillas para realizar el trabajo de evaluación. Del estudio realizado se puede determinar que (Comella-Dorda et al., 2004) es la que presenta más técnicas de evaluación y un método robusto de evaluación.

Tabla 3. Comparación de metodologías seleccionadas de evaluación de software

Autor	Año	Técnica de Criterio	Técnica de Evaluación	Metodología de Selección	Plantillas	Esfuerzo
Comella-Dorda et al	2004	Goal Question Metric	Análisis de Sensibilidad, Análisis de Brecha, Costo de Cumplimiento, Promedios de Peso	PECA	SI	MEDIO
Kontio et al	1995	Goal Question Metric	Promedios de Pesos, Proceso Analítico Jerárquico	OTSO	SI	MEDIO-ALTO
Morera	2002	NO	Proceso Analítico Jerárquico	DESMET	NO	MEDIO-ALTO

3.3 Digitalización del conocimiento

En el caso de estudio la primera actividad realizada fue elegir una metodología de evaluación que se ajuste a los objetivos de la organización y que permita cumplir con los requerimientos de los interesados (*stakeholders*). La metodología seleccionada en el PSL fue (Comella-Dorda et al., 2004). La decisión se basó en los siguientes factores: el método de selección PECA provee

diferentes técnicas que pueden ser adaptadas a diferentes escenarios, además, proporciona plantillas para realizar la evaluación en todas sus fases y el esfuerzo requerido en la evaluación es medio. Finalmente, el autor define que el proceso puede ser adaptable: “Espere adaptar este proceso a su propia situación” (Comella-Dorda et al., 2004).

Esta metodología permitió evaluar las herramientas de AE candidatas para la organización y elegir la que presente mejores resultados en la evaluación. Una de las actividades importantes en la evaluación fue el de revisar cómo integrarse a herramientas de CMBD y de gestión de procesos que la organización posee para no tener que modelar todos los objetos y relaciones existentes en su infraestructura.

Luego de tener la herramienta de AE para la digitalización del conocimiento se sugiere definir un proceso para capturar el conocimiento de los empleados de la organización. No existe un enfoque estándar, pero se propone crear talleres, reuniones o entrevistas con el personal responsable de los procesos. Ayuda mucho modelar mientras se llevan a cabo las reuniones o talleres por lo cual es importante contar con un equipo de al menos 2 personas en las entrevistas: el entrevistador y el modelador. El modelamiento implica capturar las actividades que realiza el personal, las aplicaciones que son usadas, y la infraestructura que las soporta.

3.4 Mejora de los procesos

Después de digitalizar el estado actual de los procesos es importante aprovechar las reuniones de levantamiento de información y realizar lluvia de ideas por áreas para conceptualizar y sugerir mejoras, estandarizar y eliminar redundancias. En esta etapa se crea modelos del estado futuro de las arquitecturas. Este estado futuro es la meta que tiene la organización en la búsqueda hacia la mejora continua. Se debe definir también un camino a seguir (hoja de ruta) para alcanzar los objetivos propuestos. Es importante también definir áreas prioritarias para que la AE pueda otorgar valor en etapas tempranas del proyecto.

4. Conclusiones

La AE juega un rol sumamente importante como herramienta de GC en organizaciones. El principal aporte de este artículo es el de presentar 3 metodologías de evaluación de software que pueden ser usadas en la selección de software de AE.

Las herramientas de AE son indispensables para poder crear arquitecturas de los diferentes dominios empresariales. Estas herramientas apoyan a los ejecutivos en la toma de decisiones ya que analizan la información de todos los componentes organizacionales y sus interrelaciones.

Luego de elegir la herramienta adecuada el siguiente paso es implementarla dentro de la organización. En este trabajo también se presenta un enfoque para digitalización del conocimiento

con el uso de estas herramientas. Esta tarea ayuda a transformar el conocimiento tácito de los empleados en conocimiento explícito que permita el análisis de esta información.

El software elegido debe alinearse completamente a los requisitos de los directivos de la empresa y a las metas del proyecto de GC, por lo cual la evaluación debe realizarse con una metodología que se adapte al campo de AE como las que se sugiere en este artículo.

Bibliografía

Ackermann, F., & Eden, C. (2011). Strategic Management of Stakeholders: Theory and Practice. *Long Range Planning*, *44*(3), 179–196. http://doi.org/10.1016/j.lrp.2010.08.001

Alavi, M., & Leidner, D. E. (2001). Knowledge Management and Knowledge Management Systems. *MIS Quarterly*, *25*(1), 107–136.

Bricknal, R., Darrell, G., Nilsson, H., & Pessi, K. (2011). Enterprise Architecture: Critical Factors affecting modelling and management. Retrieved from http://pdf.aminer.org/000/245/735/enterprise_architecting_critical_problems.pdf

Campbell, H. M. (2006). The role of organizational knowledge management strategies in the quest for business intelligence. *2006 IEEE International Engineering Management Conference*, 231–236.

Comella-Dorda, S., John, D., Lewis, G., Edwin, M., Patricia, O., & Erin, H. (2004). A Process for COTS Software. *CMU/SEI-2003-017*, (July), 17.

Curado, C. (2006). The knowledge-based view of the firm. *Instituto Superior de Economia E Gestao*, (1959), 18.

de Vries, M., & van Rensburg, A. (2008). Enterprise Architecture - New business value perspectives. *Southafrican Journal of Industrial Engeneering*, *19*, 1–16.

Edwards, J. (2011). A Process View of Knowledge Management : It Ain't what you do , it's the way that you do it. *Journal of Knowledge Management*, *9*(4), 297–306.

Forrester Research. (2015). Forrester Wave: Enterprise Architecture Management Suites. Retrieved November 30, 2015, from https://www.forrester.com/report/The+Forrester+Wave+Enterprise+Architecture+Management+Suites+Q3+2015/-/E-RES115345

Gartner Inc. (2013). Gartner IT Glossary. Retrieved March 18, 2013, from http://www.gartner.com/it-glossary/enterprise-architecture-ea/

Gartner Inc. (2016). Gartner 2016 Magic Quadrant for Enterprise Architecture Tools. Retrieved August 20, 2016, from http://www.mega.com/en/resource/gartner-2016-magic-quadrant-enterprise-architecture-tools

Iacob, M.-E., Jonkers, H., Quartel, D., Franken, H., & van den Berg, H. (2013). *Delivering*

Enterprise Architecture with TOGAF and Archimate. (BIZZdesign BV, Ed.). Enschede NL.

Ivanov, K. (2009). 10 Definitions of Enterprise Architecture. Retrieved October 6, 2012, from http://www.ariscommunity.com/users/koiv/2009-08-20-10-definitions-enterprise-architecture-which-corresponds-yours

Jadhav, A. S., & Sonar, R. M. (2009). Evaluating and selecting software packages: A review. *Information and Software Technology*, *51*(3), 555–563. http://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.003

Johnson, P., Lagerstrom, R., Narman, P., & Simonsson, M. (2007). Enterprise architecture analysis with extended influence diagrams. *Information Systems Frontiers*, *9*(2), 163–180.

Karemente, K., Aduwo, J. R., Mugejjera, E., & Lubega, J. (2009). Knowledge Management Frameworks. *Strengthening the Role of ICT in Development*, 35–57.

Knoll, R., & Schulz, C. (2013). *Enterprise Architecture Tool Survey 2013*. Wiesbaden. Retrieved from http://www.syracom.de/

Kontio, J., Chen, S., & Limperos, K. (1995). A cots selection method and experiences of its use. In *Proceedings of the 20th Software Engineering Workshop* (pp. 486–489).

Lankhorst, M. (2009). *Enterprise Architecture at Work Modelling Communication and Analysis* (2nd ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Matthes, D. (2011). *Enterprise Architecture Kompendium*. Springer-Verlag.

Matthes, F., Buckl, S., Leitel, J., & Schweda, C. M. (2008). *Enterprise Architecture Management Tool Survey 2008*.

Morera, D. (2002). COTS Evaluation Using Desmet Methodology {&} Analytic Hierarchy Process (AHP). In M. Oivo & S. Komi-Sirviö (Eds.), *4th International Conference, PROFES 2002 Rovaniemi, Finland, December 9--11* (pp. 485–493). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Moscoso-Zea, O., Luján-Mora, S., Schweimanns, N., & Esquetini, C. (2016). Knowledge Management Framework using Enterprise Architecture and Business Intelligence. *18th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS)*, 244–249.

Narman, P., Johnson, P., & Nordstrom, L. (2007). Enterprise architecture: A framework supporting system quality analysis. In *11th IEEE Enterprise Distributed Object Computing Conference* 130–141

Proper, H., & Lankhorst, M. (2014). Towards essential sensemaking. *Enterprise Modelling and Information Systems Architectures*, *9*(1), 5–21.

Rowley, J. (2000). From learning organisation to knowledge entrepreneur. *Journal of Knowledge Management*, *4*(1), 7–15.

Schekkerman, J. (2011). Enterprise Architecture Tool Selection Guide. *Institute for Enterprise Architecture Developments*.

The Open Group. (2011). TOGAF ® Version 9.1. Retrieved from http://goo.gl/djuv15

Tucker, R., & Debrosse, D. (2003). Enterprise Architecture Roadmap for Modernization. *Enterprise Modernization Issue*, *7(2)*.

Wernerfelt, B. (1984). A Resource-based View of the Firm. *Strategic Management Journal*, *5*, 171–180.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.329 - 343
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas

(Monitoring System of Environmental Variables Using a Wireless Sensor Network and Platforms of Internet of Things)

Manuel Quiñones-Cuenca [1,2], Víctor González-Jaramillo[1], Rommel Torres[1], Miguel Jumbo[1]

Resumen:
En este trabajo se propone un sistema para la recolección de datos meteorológicos usando una Red de Sensores Inalámbricos (RSI), capaz de transmitir los datos en tiempo real. El sistema logra automatizar los procesos de obtención de datos de manera continua y a largo plazo, por medio de un módulo de abastecimiento de energía solar que permite autonomía para su funcionamiento. Para la viabilidad del diseño e implementación de prototipos se propone la construcción de dos sistemas basados en DigiMesh y Wi-Fi, los que se pueden aplicar a diferentes escenarios como zonas urbanas y rurales. Adicionalmente se evalúa la transmisión de información a plataformas de Internet de las Cosas (IoT), en donde se gestionará y visualizará los datos obtenidos por los nodos. Este sistema fue concebido como una alternativa de bajo costo comparado con estaciones meteorológicas convencionales que posean estas prestaciones y está basado en componentes de hardware y software libre. Finalmente, se realizó la validación de los resultados obtenidos mediante un análisis estadístico con los datos registrados en una estación meteorológica Davis Vantage Pro, obteniendo un error relativo promedio máximo de 4,93%.

Palabras clave: Estación meteorológica; medioambiente; RSI; IoT; Wi-Fi.

Abstract:
This work proposes a system for collecting meteorological data using a Wireless Sensor Network (WSN), that is able to transmit data in real-time. The system automatizes the process of collecting the data in a continuous manner for long periods of time, for this, the module is equipped with a source of solar energy that allows autonomous operation. In order to obtain viability of design and prototype implementation, the construction of two systems was proposed based on DigiMesh and Wi-Fi; those prototypes could be applied to different scenarios such as urban and rural areas. Additionally, it was performed an evaluation of broadcasting of information to platforms of Internet of Things (IoT), where the data collected by the nodes will be managed and displayed. This system was conceived as a low-cost alternative compared with conventional weather stations that offer these facilities and are based on free hardware and software components. Finally, the validation of the obtained results was performed using a statistical analysis with the collected data of the weather station Davis Vantage Pro, obtaining a maximum average relative error of 4.93%.

Keywords: Environment; IoT; weather stations; Wi-Fi; WSN.

[1] Universidad Técnica Particular de Loja, Loja – Ecuador ({mfquinonez, vhgonzalez, rovitor, majumbo2} @utpl.edu.ec)
[2] Universidad Nacional de Loja, Loja – Ecuador (mfquinonez@unl.edu.ec)

1. Introducción

Hoy en día con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), se ha logrado adelantos importantes en la recolección, análisis y distribución de información relacionada con el estado climático, monitoreo de variables medioambientales, estudios de biodiversidad, entre otras. Esta información tiene distintos fines, entre ellos, la preservación digital de datos, su representación gráfica y el modelamiento de patrones climatológicos. Algunas iniciativas se enfocan en mejorar la calidad de vida de las personas, mediante la obtención y estimación de factores que afectan el entorno del ser humano, por ejemplo, infraestructura y transporte, agricultura, datos de la biodiversidad del sitio observado, entre otros.

Conceptos como Ciudades Inteligentes o Territorios Inteligentes (Smart Cities y Smart Lands), se apoyan en las TICs, especialmente en las plataformas de Internet de las Cosas (IoT) por medio de las cuales se puede obtener datos de variables medioambientales y poder proyectar y mejorar aspectos propios de las ciudades o territorios.

Uno de los retos que deben soportar las Ciudades Inteligentes está altamente relacionado con la infraestructura de comunicación necesaria para la recolección y distribución de información. En estos espacios se emplean redes de sensores inalámbricos (RSI) las cuales por su naturaleza inalámbrica y autónoma pueden ser instaladas con rapidez, además para su implementación no es necesaria una mayor inversión en adecuación de orden físico y se tiene un bajo impacto de afectación al medioambiente (Faludi, 2011, 11; Lin et al., 2011).

En este trabajo se plantea el diseño, integración e implementación de un sistema para la recolección de datos meteorológicos, para ello se usa una RSI basada en DigiMesh, lo cual permite tener una mayor flexibilidad; también se usa Wi-Fi para expandir la red de comunicaciones. El sistema emplea herramientas de hardware y software abiertos con el fin de reducir costos y se integra con plataformas de IoT para la visualización y gestión de los datos. La importancia del desarrollo del sistema radica en que se minimiza los costos de implementación, operación y gestión, en comparación con estaciones meteorológicas comerciales existentes. El sistema además ofrece un modelo escalable y funcional debido a que se puede agregar nuevos módulos para la adquisición de variables adicionales, y utiliza recursos naturales como fuente de energía.

La parte restante de este documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 de Metodología se plantea la arquitectura del sistema, hardware, el abastecimiento de energía y las plataformas de IoT utilizadas. En la sección 3 de Resultados y Discusión se muestra la implantación del prototipo de una RSI con la transmisión de datos a plataformas IoT y los resultados obtenidos mediante un análisis de los datos. Finalmente se presentan las Conclusiones y Recomendaciones.

2. Metodología

Para desarrollar un prototipo del sistema se ha seguido una metodología de avance por fases.

La primera fase, implantación, comprende la recolección de información, específicamente, la identificación de variables que el prototipo requiere como mínimo para la recolección de datos meteorológicos, con el fin de obtener las características necesarias que permitan el dimensionamiento tanto de los sensores como de los módulos de comunicación.

La segunda fase, recolección de datos, en donde se realiza los algoritmos y la caracterización de la tarjeta de adquisición. En esta fase también se realiza la integración de los sensores con la placa base de adquisición y el análisis del consumo energético del prototipo.

Finalmente, en la tercera fase, distribución y presentación, está enfocada a la transmisión y recepción de información del prototipo, como también a la visualización y la validación de los datos en plataformas IoT.

2.1 Arquitectura del sistema

Para la arquitectura del sistema se plantea usar dos variantes de RSI:

- La primera basada en DigiMesh para la comunicación. Está red se compone de nodos sensores y un nodo central que está conectado a una puerta de enlace (ver *Figura 1.a*), este usa Wi-Fi para el reenvió de datos a plataformas de IoT (ver *Figura 1.c*).
- La segunda donde los nodos usan Wi-Fi para la comunicación. Estos integran las funcionalidades de adquisición de variables meteorológicas, procesamiento y la transmisión de datos directamente a las plataformas de IoT (ver *Figura 1.b*). En esta variante se suprime el uso de los nodos centrales.

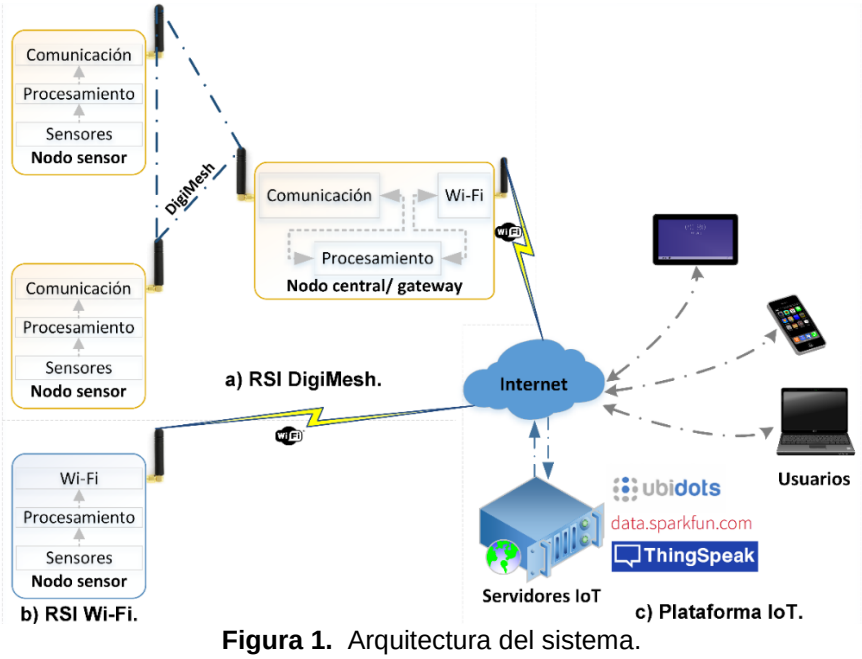


Figura 1. Arquitectura del sistema.

2.1.1 Nodo Sensor

Los nodos sensores están formados por 3 módulos: sensores, procesamiento y comunicación (ver *Figura 2*). Estos nodos tienen por función recolectar los valores adquiridos por los sensores, procesar y enviar los datos ya sea usando Wi-Fi o DigiMesh según el modelo de RSI seleccionado.

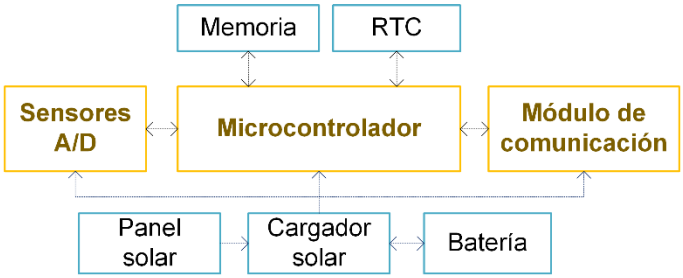


Figura 2. Arquitectura hardware del nodo sensor.

En la RSI usando DigiMesh, existe además un nodo central conformado por dos módulos de comunicación, el primero interactúa con los nodos sensores para la entrega de los valores recolectados, y el segundo retransmite la información obtenida de los nodos sensores a una plataforma IoT (Perera, Liu & Jayawardena, 2015).

2.2 Hardware

Los componentes de hardware usados para la implementación de los nodos prototipo se detallan en las siguientes secciones.

2.2.1 Sensores

Para determinar los sensores a emplear en la adquisición de las variables meteorológicas se considera los rangos de medición y protocolos de comunicación como se indica en *Tabla 1*. Las variables a monitorear son: velocidad del viento, dirección del viento, lluvia instantánea, presión barométrica, temperatura ambiental, humedad relativa ambiental, temperatura del suelo, y humedad relativa del suelo. Estas son determinadas por la Organización Mundial de Meteorología (OMM) (OMM, 2014)

Tabla 1. Especificaciones de los sensores.

Sensor	Dispositivo	Protocolo Comunic.	Rango de Medición	Exactitud
Anemómetro	SEN-08942	I2C	2,4-228km/h	
Veleta			0-360º	
Pluviómetro			0,2794mm	
Barómetro	MPL3115A2		20-110kPa	∓0,4kPa
Temperatura ambiente	RHT03	1Wire	-40 a 80ºC	∓0,5
Humedad relativa ambiente			0-100%HR	∓2%HR
Temperatura suelo	SHT10	2Wire	-40 a 123ºC	∓0,5
Humedad relativa suelo			0-100%HR	∓4,5%HR

Adicionalmente, se requiere del módulo Weather Shield (DEV-12081), que permite el acondicionamiento de las señales de los sensores (anemómetro, veleta, pluviómetro) e integra un barómetro, un sensor de temperatura y humedad, que sirven para el monitoreo del estado de los nodos sensores.

2.2.2 Procesamiento

El procesamiento del prototipo se realiza en una tarjeta Arduino Uno (RedBoard DEV-12757), que es la encargada de adquirir y procesar toda la información obtenida por los sensores y administrar parte de la comunicación.

2.2.3 Módulos de comunicación

El sistema se diseña para ambientes rurales o urbanos con bandas ISM de 900MHz y 2,4 GHz. Se propone usar Wi-Fi para la transmisión de datos a Internet en ambientes urbanos donde existe una alta densidad de despliegue de esta tecnología.

Para la comunicación entre el nodo sensor y central como se indica en la figura 1a se usa módulos con protocolos de comunicación DigiMesh que permiten establecer topologías punto a punto, punto a multipunto y malla; hasta una distancia de 40 km empleando antenas de alta ganancia en la banda de 900MHz. A continuación, se detalla cada uno de los elementos usados para la comunicación:

- Wi-Fi: Electric Imp. 01 (Nodo usando Wi-Fi y el nodo central) en la banda 2,4 GHz.
    - Electric Imp Shield (DEV-12887), permite integrar el módulo de comunicación con la plataforma Arduino.
- DigiMesh: XBee PRO 900HP (Potencia máxima: 250mW).
    - Antena dipolo de 3dBi para evaluar en ambiente de laboratorio. Para desplegar el sistema en un ambiente externo se usa una antena Yagi de 14dBi para el nodo sensor y para el coordinador una antena omnidireccional de 8 dBi.

2.2.4 Abastecimiento de energía

Para el abastecimiento de energía de los nodos se usa paneles solares, baterías LiPo y cargador solar. A continuación, se detalla los componentes usados:

- Panel solar: PRT-09241.
- Batería: LiPo 3.7V 6600mAh (ID: 353)
- Cargador solar para baterías LiPo: PRT-12885.

2.3 Plataformas IoT

Actualmente, han surgido una diversidad de plataformas en respuesta al rápido incremento de dispositivos inalámbricos aplicados a la medición y automatización de procesos industriales y residenciales. Las plataformas IoT permiten el registro de datos adquiridos por sensores, el enrutamiento de datos en tiempo real y el control remoto de dispositivos. Además, proveen una interfaz como punto de acceso a sus recursos a través de protocolos de Internet; que permiten interactuar con lenguajes de alto nivel como LabView, Matlab y Python, para realizar procesamiento de datos y accionar remotamente un dispositivo (Wong & Kerkez, 2016).

Debido a que usan distintas estrategias y protocolos de aplicación como Hipertext Transfer Protocol (HTTP) y Message Queue Telemetry Transport (MQTT), el prototipo se ha evaluado en tres plataformas IoT: Ubidots (UBIDOTS, 2014), Phant (PHANT, 2015) y ThingSpeak (c, 2016).

2.3.1 Ubidots

En la figura 3a se muestra la arquitectura de la plataforma Ubidots, la que integra los flujos de datos en un entorno de computación en la nube, para crear aplicaciones que capturan información del mundo real. Ubidots provee una clave API a cada usuario que se utiliza como identificador de autenticación cuando se transmite los datos de los sensores a la nube (UBIDOTS, 2014). Esta permite registrar hasta 30 000 datos de forma gratuita por mes, si se requiere registrar más datos al mes, se puede optar por pagar un plan de servicio que ofrece está plataforma según sea necesario (Bolivar & Alexandre Da Silva, 2015).

Las principales características de la plataforma Ubidots son:

- Capacidad para publicar los datos del dispositivo sobre una API REST.
- Flexibilidad, ya que permite a sus usuarios mezclar diferentes flujos de datos y presentarlos en esta plataforma.
- Disponibilidad ubicua, debido a que está basado en la nube.
- Seguridad basada en mecanismos incorporados en la plataforma de Ubidots (autenticación mediante API o tokens).

2.3.2 Phant

Es una herramienta de código abierto de registro modular desarrollada por SparkFun Electronics para la recolección de datos de IoT. Para el almacenamiento se requiere realizar la creación de un flujo de datos, que proporciona una clave pública y una privada. Estas claves se usan en la publicación de los datos por lo que es necesario añadirla a la trama. Para registrar los datos al servidor se puede usar la biblioteca Phant o mediante un requerimiento HTTP utilizando cualquier cliente web. Aunque es gratuito tiene un límite de 100 peticiones cada 15 minutos y tiene una

capacidad máxima de 50MB después de sobrepasar este límite, los datos más antiguos se eliminan. Estas limitaciones se pueden eliminar si se instala en un servidor privado. En la figura 3b se representa el funcionamiento de la plataforma Phant (PHANT, 2015).

2.3.3 ThingSpeak

Es un servicio de plataforma de análisis de IoT que permite almacenar y recuperar los datos de sensores en la nube y desarrollar aplicaciones de IoT. El servicio ThingSpeak también permite realizar análisis en línea y actuar sobre sus datos. Los datos del sensor pueden ser enviados a ThingSpeak desde cualquier hardware que pueda comunicarse usando una API REST o usando el protocolo MQTT. MQTT es extremadamente simple y ligero, para la publicación y suscripción; diseñado para dispositivos que están limitados por el bajo ancho de banda y alta latencia (Asghar & Mohammadzadeh, 2015). En la *Figura 3c* se representa la arquitectura de esta plataforma (MATHWORKS, 2016).

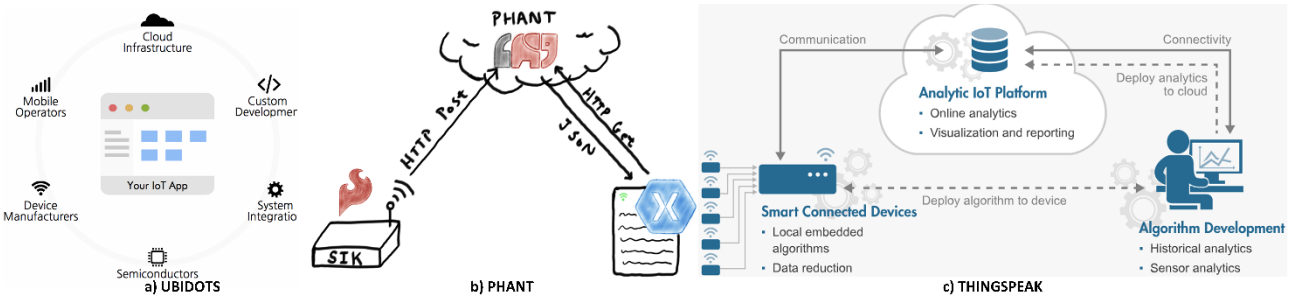


Figura 3. Arquitectura de plataformas IoT.

2.4 Dimensionamiento de autonomía de energía

Para determinar el consumo de energía del prototipo (ver *Figura 4*) se realiza las mediciones en cada uno de los nodos de la RSI DigiMesh y de la RSI Wi-Fi (ver *Tabla 2*), y el requerimiento diario de potencia. Estas mediciones permiten establecer la capacidad de la batería (considerando una autonomía de 2 días), y el dimensionamiento del panel solar.

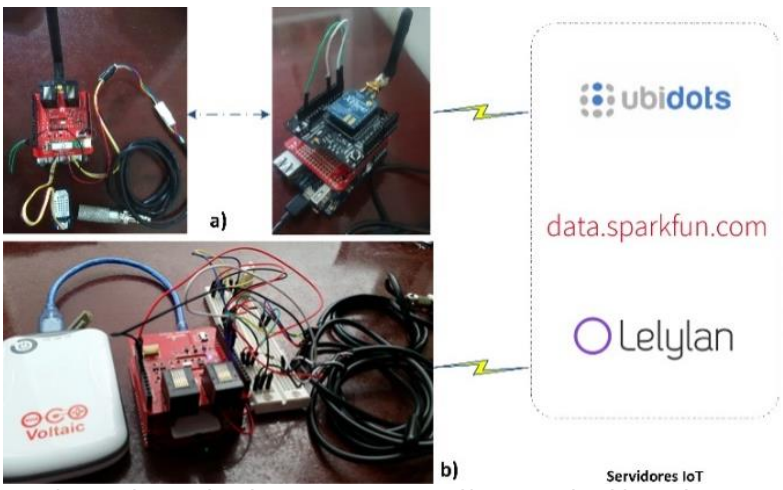


Figura 4. *Prototipos: a) RSI (nodo sensor y central/gateway) y b) Nodo sensor usando Wi-Fi.*

Tabla 2. Requerimiento diario de potencia de los nodos.

Nodo	Proceso	Consumo (mA)	Tiempo (s)	Potencia (mWh)	Pot. diaria (Wh/día)
Sensor	Adquisición	60	30	204.30	4,90
	Transmisión	70	2	16,17	0,388
	Total				**5,28**
Central	Activo	49	15	90,41	2,17
	Recepción	130	10	170,3	4,08
	Transmisión	165	2	43,96	1,05
	Total				**7,3**
Sensor Wi-Fi	Adquisición	25	600	91,97	2,207
	Transmisión	109	6	0,675	0,088
	Total				**2,295**

El consumo diario de energía se calcula mediante la ecuación (1), considerando la carga conectada y la eficiencia del regulador (regulador interno del Arduino Uno) en este caso del 95% (Quezada, Morales & Riofrío, 2013).

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg}} \quad (1)$$

Dónde: E_d, es el consumo diario de energía del prototipo de adquisición y transmisión en $Wh/día$, P_d es el requerimiento diario de potencia de los dispositivos a alimentar en $Wh/día$, η_{reg} es la eficiencia del regulador en $\%$. En la *Tabla 3* se muestra el E_d , de cada uno de los nodos.

Tabla 3. Requerimiento diario de potencia de los nodos.

	Nodo Sensor	Nodo central	Nodo Sensor Wi-Fi
Ed(Wh/día)	5,55	7,7	2.415

La medición del consumo energético de las pruebas experimentales se realiza en intervalos de 30s (ver *Figura 5*); el intervalo de tiempo de transmisión recomendado por la OMM está entre 5 a 10 min (OMM, 2014). Con estos intervalos de tiempo en la transmisión el consumo de energía es menor, permitiendo incrementar la autonomía del prototipo.

Figura 5. Consumo de corriente: a) nodo central y b) nodo sensor Wi-Fi.

2.4.1 Dimensionamiento del panel solar

Para dimensionar correctamente el número de paneles solares y la capacidad necesaria de los mismos, se toma como referencia los parámetros de consumo diario de potencia de los prototipos (Wh/día) y la irradiación global diaria del lugar (kWh/m2/d). Se utiliza una metodología para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos, para determinar el panel solar y batería (Aguilera & Hontario, 2011; Prat, 2015). Para poder obtener la irradiación global del lugar de interés se utilizó recursos web del Data Center de la NASA en el área de Meteorología y Energía Solar (Stackhouse, 2016), donde se ingresa las coordenadas de latitud y longitud de la ciudad de Loja-Ecuador. En la *Tabla 4*, se muestra todos los parámetros utilizados para el dimensionamiento del panel solar.

Tabla 4. Parámetros para el cálculo del panel solar.

Parámetros	**Unidad**	**Valor**
Constantes Solar (L_{cs})	W/m^2	1367
Día central del mes ($d_{n)}$	d	15
Corrección Excentricidad orbita (E_o)		1.319
Latitud (grados decimales)	(º)	-3.98
Longitud (φ: grados decimales)	(º)	-79.16
Angulo diario (Γ)	Rad	0.2409
Declinación Solar (δ)		-0.3712
Angulo de salida del sol (ω_s)	Rad	1.5978
Irradiación solar extra terrestre sobre superficie horizontal (G_{0d})	$kWh/m^2/d$	13.3551
Irradiación global diaria promedio mensual en una superficie horizontal (G_d)	$kWh/m^2/d$	5.07
Índice de transparencia atmosférica (K_d)		0.3796
Irradiación difusa en la superficie horizontal (D_d)	$kWh/m^2/d$	2.475
Irradiación directa en superficie horizontal (I_d)	$kWh/m^2/d$	2.5942

Con los resultados obtenidos de la capacidad de almacenamiento de la batería mínima requerida (ver tabla 5), se determina el uso de baterías de tipo LiPo de 6600 mAh a 3.7V. Además, en base al dimensionamiento del panel solar se utiliza uno de 5.2 W (el mínimo requerido es de 3.2W).

Tabla 5. Resultados del dimensionamiento del panel solar, inclinación y HPS.

Parámetros	**RSI DigiMesh**	**RSI Wi-Fi**	
	Nodo central	**Nodo Final**	**Nodo Sensor**
Número de Paneles (N_T)	0.7672	0.553	0.240
Potencia (W)	3.2	3.2	3.2
Ángulo Inclinación (º)	30	30	30
Hora pico solar (HPS)	3.92	3.92	3.92

Para la implementación del sistema de abastecimiento de energía, se necesita cargar la batería con el panel solar utilizando un regulador/cargador solar MPPT (Maximum Power Point Tracking-Seguidor de Punto de Máxima Potencia) para baterías litio (ver *Figura 6*). Éste componente permite obtener eficientemente la energía del panel solar.

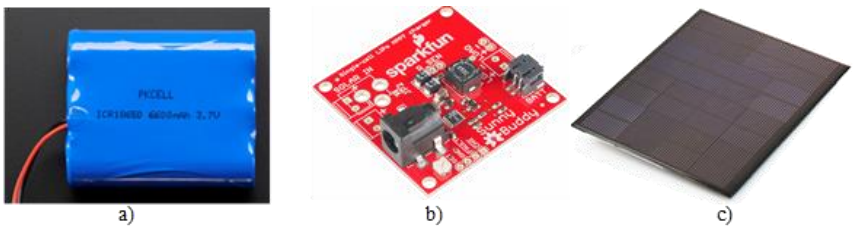


Figura 6. *Componentes del sistema de abastecimiento de energía solar: a) Batería LiPo, b) cargador solar y c) panel Solar.*

3. Resultados y Discusión

3.1 Despliegue de prototipo

Para preservar el correcto desempeño de los componentes del prototipo recolector de datos meteorológicos y obtener las mediciones exactas, se adecuan los componentes en una caja con un grado de protección IP65 o superior (Kuppusamy, 2016).

Tomando en cuenta las recomendaciones que pone a consideración la OMM (OMM, 2014), el prototipo se instala en un campo abierto dentro del campus universitario de la UTPL (ver figura 7). Para la obtención de las variables meteorológicas en tiempo real se usa la RSI basado en DigiMesh. La distancia entre el nodo central y el nodo sensor es de 190m.

Figura 7. *Despliegue de la RSI: a) Ubicación nodo sensor y central, b) Nodo sensor y c) Nodo central.*

3.2 Pruebas de cobertura del sistema

Se realiza una prueba cobertura de la RSI DigiMesh con el propósito de incrementar a futuro la cantidad de nodos sensores. Para este propósito se ha empleado el nodo central de la *Figura 7.c* y se ha implementado un nodo sensor portátil (ver *Figura 8a*).

Para la prueba se ha establecido un enlace con una distancia de 7Km (ver figura 8d) entre el nodo central y un nodo sensor portátil ubicado en la Central Eólica Villonaco (CEV) CELEC EP GENSUR (lugar con línea de vista hacia UTPL ver figura 8b) hasta el nodo central ubicado en la UTPL como se observa en la figura 8c. El nodo sensor portátil cuenta con una antena direccional tipo Yagi de 14dBi, el nodo central con una omnidireccional de 8dBi y se ha empleado una potencia de transmisión de 17dBm o 50mW en cada módulo de comunicación de los nodos.

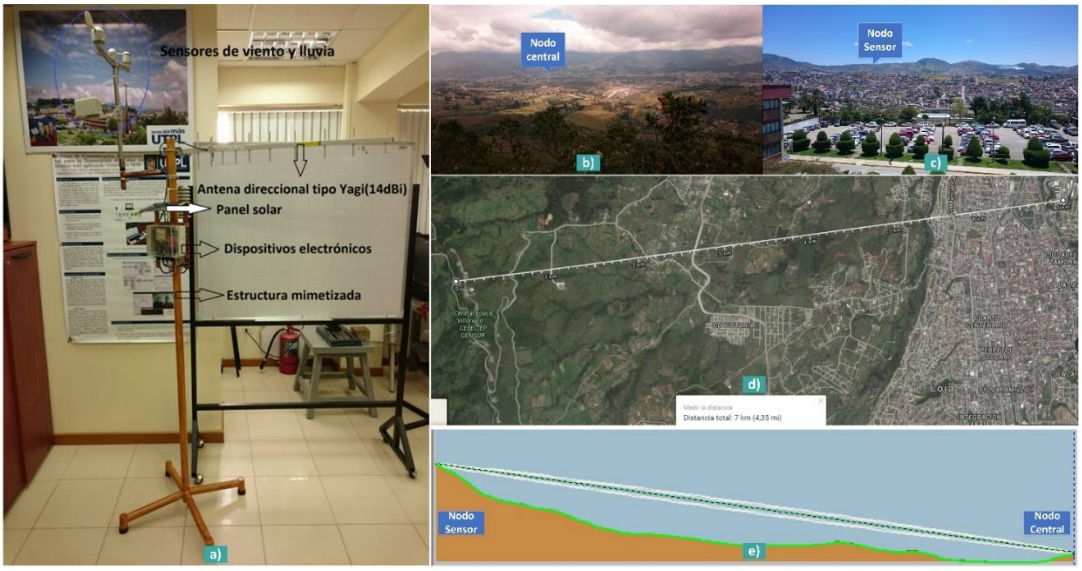


Figura 8. *Prueba de cobertura del sistema a una distancia de 7km: a) Nodo sensor portátil, b) Línea de vista CEV - UTPL, c) Línea de vista UTPL - CEV, d) Distancia entre los nodos, y e) Perfil del enlace.*

Para verificar que existe línea de vista y que la primera zona de Fresnel está despejada se usó el software de simulación RadioMobile, el resultado obtenido se observa en la figura 8e, estableciéndose el enlace. Con esta prueba de cobertura se determina que se puede extender la RSI DigiMesh, para la instalación de nodos con sensores medioambientales para obtener datos en tiempo real de manera continua y a largo plazo de áreas de interés como la Reserva de Biosfera Podocarpus que es fuente de 4 ríos binacionales que abastecen de agua a casi 2 millones de personas en Ecuador y Perú (NATURALEZAYCULTURA, 2016); y de bosques protectores altos de montaña que se encuentran a las afueras de la ciudad de Loja que son la principal fuente de agua para la ciudad.

3.3 Visualización de datos en plataformas IoT

Para el almacenamiento de los datos en las plataformas de IoT, se requiere de la construcción de una trama JSON que demanda cada plataforma. Un ejemplo de esto es la plataforma

DataSparkfun donde se necesita usar una llave privada y una llave pública. En la *Figura 9* se muestra la publicación de los datos recolectados por el prototipo desplegado en los servidores de Ubidots, ThingSpeak y DataSparkfun (Phant).

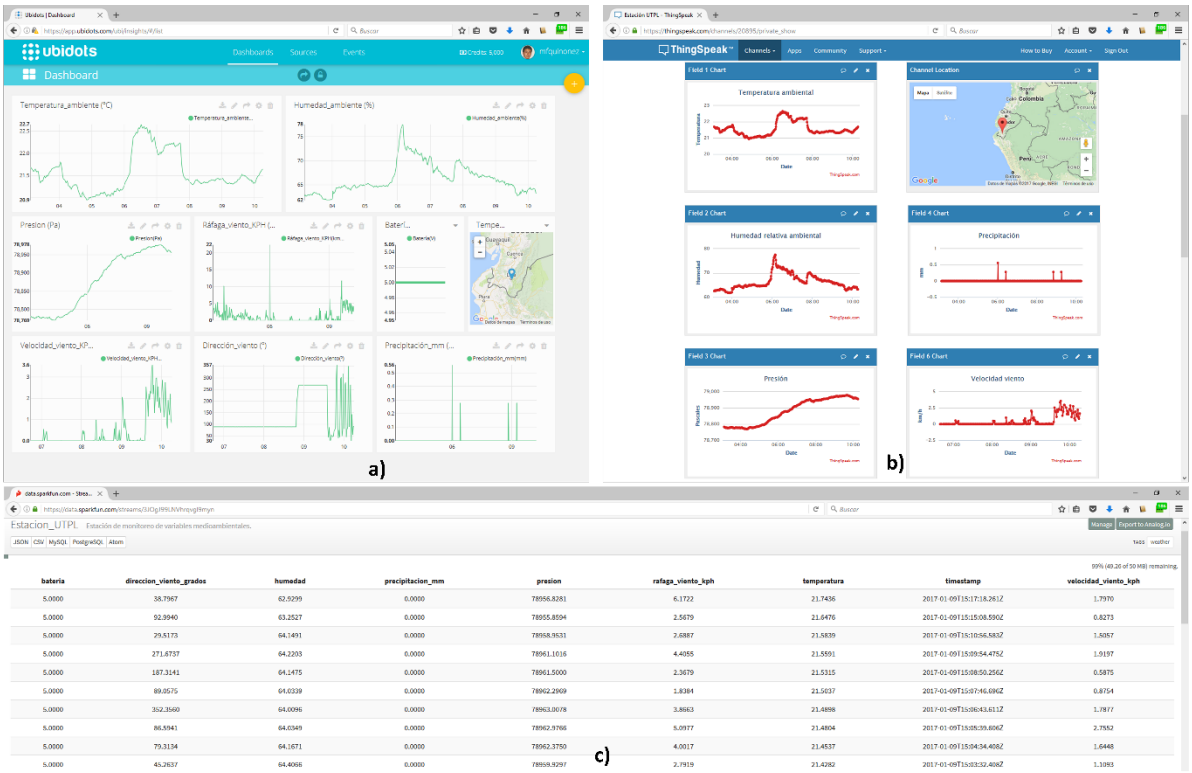


Figura 9. *Publicación de datos en las plataformas de IoT: a) Ubidots, b) ThingSpeak y c) DataSparkfun.*

Estas plataformas de IoT, permiten el almacenamiento masivo de datos, la visualización y análisis, siendo accesible a usuarios con diferentes propósitos como estudios climatológicos o toma de decisiones. A pesar de las ventajas mencionadas, estas tres plataformas presentan limitantes con respecto a la cantidad de datos que se puede almacenar, número de dispositivos conectados y la retención de datos. Por lo que es necesario analizar si es conveniente el pago de estos servicios dependiendo de la cantidad de nodos y variables o si es necesario desarrollar una plataforma que integre MQTT y que permita la interoperabilidad usando estándares como SWE (Sensor Web Enablement) de OGC (Open Geospatial Consortium) (OGC, 2016).

3.4 Análisis de datos

Para la obtención de las variables meteorológicas en tiempo real se usa la RSI basado en DigiMesh. En la *Figura 10* se muestran los datos obtenidos de los sensores de temperatura ambiente y humedad relativa ambiente de tres días desde el 7 al 9 de enero del 2017.

Para validar los resultados obtenidos del prototipo se realiza una comparación y análisis de los datos con una estación meteorológica Davis Vantage Pro (ver figura 7b). El análisis corresponde a determinar el error relativo entre los grupos de datos. Estos datos corresponden a un conjunto de 490 muestras realizadas el 7 de enero desde las 18:00 a 8:40 del 9 de enero de 2017.

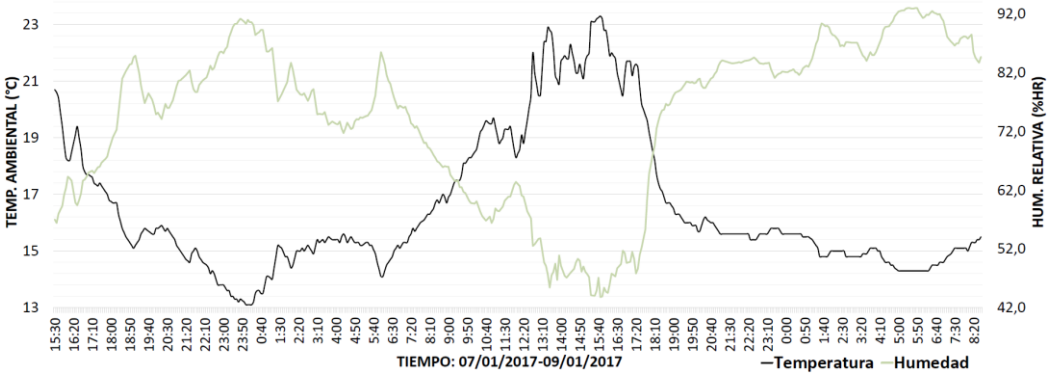


Figura 10. *Datos de temperatura y humedad obtenidos por el sistema.*

En la *Figura 11a* se muestra la gráfica de los datos correspondientes a la temperatura ambiental y el error relativo. Obteniendo un error máximo de 5,7 %. En la *Figura 11b* se muestra la humedad ambiental y el error relativo. El error máximo es de 5,17%.

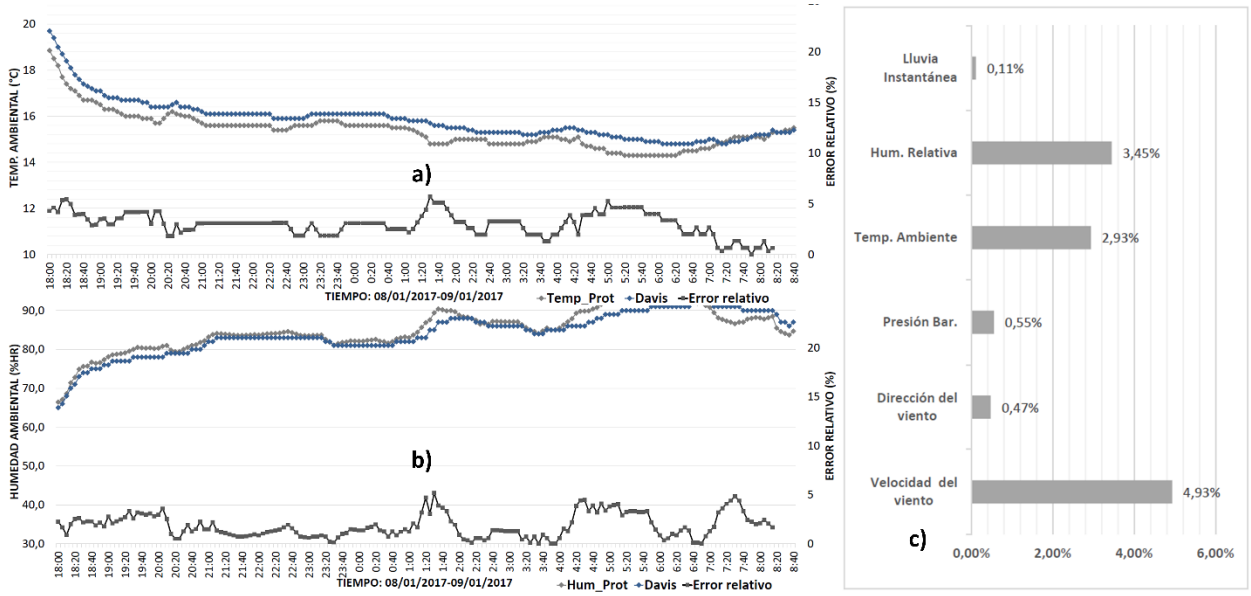


Figura 11. Análisis de datos: a) Temperatura ambiental y error relativo, b) Humedad ambiental y error relativo y c) Error relativo promedio de las variables medioambientales.

Para las variables restantes los errores relativos promedios se hallan entre 0.11% y 4.93% (ver *Figura 11c*).

4. Conclusiones y Recomendaciones

Se ha desarrollado un sistema de monitoreo que automatiza el proceso de obtención de datos en tiempo real de variables medio ambientales recomendadas por la OMM usando una RSI y plataformas de internet de las cosas, que facilitan el acceso a la información y su gestión, usando plataformas de hardware y software abiertas, de bajo costo que permiten la integración o cambio de módulos de sensores o de comunicación, para incrementar las funcionalidades del prototipo, empleando protocolos de comunicación estándar que facilitan la escalabilidad y reconfiguración de los nodos. Además, cuenta con un sistema de abastecimiento de energía solar y de

almacenamiento, que garantiza de manera continua y a largo plazo su funcionamiento; e incluye la transmisión de datos en tiempo real usando tecnologías inalámbricas.

Al usar DigiMesh en el sistema se logró una cobertura de 7km, logrando cubrir varios bosques altos de montaña como la Reserva de Biosfera Podocarpus que es una de las principales fuentes de recurso hídrico de la ciudad de Loja. Además, el sistema permite flexibilidad para expandir la red, con la capacidad de integrar más nodos y crear una red tipo malla.

Bibliografía

Asghar, M. & Mohammadzadeh, N. (2015). *Design and simulation of energy efficiency in node based on MQTT protocol in Internet of Things*. 2015 International Conference On Green Computing And Internet Of Things (ICGCIOT). http://dx.doi.org/10.1109/icgciot.2015.7380689

Aguilera, J. & Hontario, L. (2011). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos* [en línea]. Departamento de Electrónica, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén. Jaén (España): Grupo IDEA <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf> [consulta: 1/4/16].

Bolivar, l. & Alexandre da Silva, G. (2015). *Solar radiation monitoring using electronic embedded system Raspberry Pi database connection MySQL, Ubidots and TCS-230 sensor*. 2015 CHILEAN Conference On Electrical, Electronics Engineering, Information And Communication Technologies (CHILECON). http://dx.doi.org/10.1109/chilecon.2015.7400420

Faludi, R. (2011). *Building wireless sensor networks (1st ed.)*. Beijing: O'Reilly. 392 p. ISBN: 978-0-596-80773-3.

Kuppusamy, P. (2016). *Smart Home Automation using Sensors and Internet of Things*. Asian Journal Of Research In Social Sciences And Humanities, 6(8), 2642. http://dx.doi.org/10.5958/2249-7315.2016.00771.1

Lin, C., Zadorozhny, V., Krishnamurthy, P., Park, H., & Lee, C. (2011). *A Distributed and Scalable Time Slot Allocation Protocol for Wireless Sensor Networks*. IEEE Transactions On Mobile Computing, 10(4), 505-518. http://dx.doi.org/10.1109/tmc.2010.163

MATHWORKS (2016). Understand Your Things, the open IoT platform with MATLAB analytics. [en línea]. ThingSpeak: < https://thingspeak.com/ > [consulta: 7/4/16].

NATURALEZAYCULTURA (2016). *Reserva de Biosfera Podocarpus* - El Cóndor [en línea]. Loja (Loja, Ecuador): Naturaleza y Cultura Internacional <http://www.naturalezaycultura.org/spanish/htm/ecuador/areas-andes-podocarpus.htm> [consulta: 2/11/16].

OMM (2014). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos* [en línea]. Ginebra (Suiza): OMM <http://l ibrary.wmo.int/pmb_ged/wmo_8-2014_es.pdf> [consulta: 10/09/16].

Perera, C., Liu, C., & Jayawardena, S. (2015). *The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey*. IEEE Transactions On Emerging Topics In Computing, 3(4), 585-598. http://dx.doi.org/10.1109/tetc.2015.2390034

PHANT (2015). *Documentation, phant.io*. Colorado (Boulder, CO, United States): SparkFun Electronics <http://phant.io/docs/> [consulta: 5/4/16].

Prat, l. (2015). *Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos* [en línea]. Universitat Politécnica de Catalunya. Barcelona (España): Departamento de Ingeniería Electrónica <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358054/dimensionado_sistema_fotovoltaico.pdf> [consulta: 3/4/16].

OGC (2009). *Sensor Web Enablement (SWE)* [en línea]. Massachusetts (Wayland, USA) http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe [consulta: 2/12/16].

Quezada, V., Morales, l. E., & Riofrío, l. (2013). *Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping* [en línea]. Repositorio Institucional de Trabajos de fin de Titulación de la Universidad Técnica Particular de Loja. Loja (Loja, Ecuador): UTPL < http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/7865> [18/07/2015].

Stackhouse, P. (2016). *NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data*. USA: Atmospheric Science Data Center <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-3.987667&lon=-79.196763&submit=Submit.> [consulta: 5/07/16].

UBIDOTS (2014). *Ubidots API Documentation* [en línea]. Bogotá (Colombia): UBIDOTS <http://ubidots.com/docs/get_started/overview.html> [consulta: 3/4/16].

Wong, B. & Kerkez, B. (2016). *Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services*. Environmental Modelling & Software, 84, 505-517. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.020

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.344 - 357
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Strategies for Mobile Web Design

(Estrategias de diseño web para dispositivos móviles)

Alex Cazañas[1], Esther Parra [2]

Abstract:
This paper presents a literature review on the topic of web design, specifically with regard to mobile web design. The aim of the review is to identify and analyze major strategies and approaches to design for small-screen-size devices. Three strategies consistently appeared across the reviewed literature, namely, responsive web design, adaptive web design, and separate site. The analysis of these strategies intends to provide a clear understanding of their advantages and disadvantages, in terms of cost and user experience.

Keywords: mobile; web; design; responsive; adaptive

Resumen:
Este artículo presenta una revisión de la literatura referente al diseño web, específicamente a diseño web para dispositivos móviles. El objetivo de la revisión es identificar y analizar las principales estrategias y metodologías para el diseño en dispositivos con pantallas de tamaño pequeño. Tres estrategias aparecen consistentemente en la literatura revisada, a saber: Diseño responsivo, diseño adaptativo, y sitio móvil independiente. El análisis de estas estrategias pretende proveer un claro entendimiento de sus ventajas y desventajas, en términos de costos y experiencia de usuario.

Palabras clave: diseño; web; móvil; responsivo; adaptativo

1. Introduction

Fueled by increasingly capable and affordable devices, as well as faster networks; mobile usage is expanding rapidly. Global mobile data traffic reached 2.5 exabytes per month at the end of 2014 and the average mobile network downstream speed in 2014 was 1,683 kbps. In addition, global mobile devices and connections in 2014 grew to 7.4 billion, up from 6.9 billion in 2013 (CISCO, 2014). Building mobile friendly websites represents now both a need and an opportunity to businesses.

Numerous technologies, approaches and strategies are available for web development and web design. The focus of this paper is identifying major strategies for web design, and analyzing their benefits, limitations, and application in the context of mobile web sites.

2. Background

Many strategies have been proposed to approach to web design. Although the literature covers an ample variety of strategies, this review will focus on three major approaches that emerge repeatedly throughout the literature. These approaches are: responsive web design, adaptive web design, and

1 University of Queensland, Brisbane – Australia (alex.cazanasgordon@uqconnect.edu.au)
2 Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador (esther.parra@epn.edu.ec)

separate site. Although the literature represents these approaches in a variety of contexts, this paper will primarily focus on their application to mobile websites.

Most early approaches to web design were concerned with building usable interfaces that guarantee continuity between platforms with very different capabilities. Florins and Vanderdonckt (2004) argue that the design must focus on one primary interface designed for the less constrained platform and apply successive transformations to this interface in order to produce interfaces for more constrained platforms. Wong, Chu, and Katagiri (2002) suggest that a single device-independent presentation model eliminates the need of developing and maintaining separate device-specific versions of the same website. Similarly, Artail and Raydan (2005); and Chen, Xie, Ma, and Zhang (2005) promote a re-authoring approach, which consists on diminishing the presentation to provide a minimal experience to handheld devices. Current thinking does not discount early approaches, but builds on them to provide users with access regardless of technological restrictions.

Following the boom of mobile phones with browser support, the creation of websites specifically optimized for mobile became a mainstream strategy. Robbins (2012) argues that a separate strategy is beneficial for mobile sites because its ability of customization. However, Champeon (2003) challenged this notion by claiming that instead of designing for a target platform, the approach should be building a site in successive stages by adding richer content to the basic version of a webpage.

Most current strategies to approach multi-device design focus on achieving a single web experience which smoothly adapts to different device capabilities, screen sizes, screen resolutions, and browsers. Marcotte (2010) argued that rather than constructing separate device-specific experiences, designers could take advantage of standard-base technologies to make the design adaptive to the media that render it. This is supported by Gardner (2011) who claims that adapting layout and content to different viewing contexts across dissimilar devices can enhance user experience.

It can be argued that the use of content adaptation techniques to improve user experience is central to the needs of current mobile web design. In fact, the need of making the same information and services available to user without regard of the device, is a major concern in the idea of One Web put forward by the World Wide Web Consortium (2008). These strategies, with their focus on designing sites that are able to respond to any device, demonstrate that content adaptation has become an essential component of mobile web design.

3. Discussion of findings

This section discusses the findings of the research and provides a comparative analysis of the approaches under study.

A. Approaches to web design

In order to understand the origin of the analyzed strategies, it is necessary to discuss two influential approaches to web design: graceful degradation, and progressive enhancement.

1) Graceful degradation

In the early stages of web development, designers adopted graceful degradation as best practice for delivering the best experience to users with the most up to date browsers. On the other hand, users with older browsers received a degraded version of the website with a minimal level of functionality.

Graceful degradation relies on the principle of fault tolerance, which is the ability of a system to continue to work even on the eventuality of unexpected errors (Gustafson, 2013). Fault tolerance is at the core of two of the fundamental web languages: HTML, and CSS. The specifications of these two languages make possible that browsers display sites with deprecated or unsupported markup. When browsers find tags they cannot interpret, the applications do not crash. Instead, browsers ignore that bit of code, and render the remaining markup. One example of graceful degradation is the “alt” attribute of images whose purpose is display an alternate text to the image. Users whose browser cannot render the image will see the alternate text (Garrett, 2013).

The rationale of graceful degradation is that as HTML and CSS are fault-tolerant, users with old browsers would have at least a minimum of the intended experience. Therefore, it is not worth spending resources making sure that older browsers obtain an equivalent experience to the experience designed for the targeted browsers. Although this assumption makes sense, in practice the development tends to focus only on the most updated browsers, those with the biggest market share. Web developers do not code sites that actually degrade gracefully, but rather ask users to upgrade their browser. Furthermore, graceful degradation overlooks the fact that other programming languages such as JavaScript are not fault tolerant.

Even though graceful degradation provides a limited solution to multi-device design, it could be useful in a few scenarios:

- Backward compatibility projects where lack of resources limits the development. For instance, the retrofit of an old website that counts with scarce time or budget.
- Very high traffic websites where performance is extremely critical. For example, an edge case where every millisecond of load represents millions of dollars.
- The requirements of the product make it so dependent on scripting that maintaining a “basic” version is more viable than enhancing one.

2) Progressive enhancement

Champeon (2003) first introduced the term progressive enhancement. This approach shares with graceful degradation the concern for making a website work across a variety of browsers and devices. Gustafson (2008) argues that the difference between these approaches lies in where they

place the focus, and how this affects the development workflow. Whereas, graceful degradation privileges presentation and functionality over content, progressive enhancement focuses on content. As per the development workflow, different to graceful degradation, progressive enhancement starts with a basic version to ensure that it works in all browsers. After that, web designers can successively add functionalities to enhance the experience on most advanced browsers.

Progressive enhancement is the natural result of the need of providing content regardless the browser that renders it. The diverse multitude of browsers makes difficult for designers to cope with an increasing number of levels of support for web standards and browser capabilities. The idea of change the direction of the development workflow makes that designers do not concern about browser capabilities but focus on content. Moreover, the fact that progressive enhancement goes from a basic to complex, makes it capable of work for any new browser and device that supports web standards.

Progressive enhancement approach separates content, presentation and behavior. The design of a site following this approach consists in building three layers.

a) Content: This layer includes the HTML markup, which represents the basic version of the site and it must be properly marked up in order to be usable in all versions of browsers and devices.
b) Presentation: This layer provides the visual appearance with externally linked CSS. By taking advantage of the way that browsers parse style sheet rules, it is possible to create different levels of experience. From the baseline style, that must be designed first, the designer may enhance the presentation for advanced browser.
c) Behavior: The final layer corresponds to the scripting which makes possible the interaction and functionality. The design must assure that basic functionality, such us linking, works well even when JavaScript is not available.

Progressive enhancement represents an evolution of traditional approaches to web design. Wells and Draganova (2007) claim that this strategy brings a number of benefits, such as improved semantics, accessibility, performance, and search engine optimization (SEO), reduced costs of maintenance and facilitates the inclusion of advanced features. Similarly, Garrett (2013) states that progressive enhancement provides a rich user experience on top an accessible baseline without compromising that baseline. It can be argued that progressive enhancement provides a most suitable approach to the needs of modern web design because it focuses on content, it is future-friendly, and it is medium independent.

B. Responsive web design (RWD)

Layout is one of the first elements that designers take into account when designing for the web. Before the explosion of tablets and mobile phones, fixed width design was the preferred approach.

Fixed width design allows designers to control several graphic elements among others layout, and typography. However, the disadvantage of fixed width design is that its usability depends largely on the screen size. For instance, a fixed-width layout displays a large amount of white space in larger screens, and requires a horizontal scroll bar for smaller screens. An alternate approach to fixed width design is fluid design (also known as liquid design). With fluid design, the elements of the layout share a percentage of the width, which permits them to adjust to the screen resolution. There has been considerable disagreement among web designers over which approach is the best (Weiss, 2006). Whereas proponents of fluid design remark the enhancement of the user experience, those in favor of fixed width design argue that it provides greater control over the design.

Although both fixed-width design and liquid design provide flexibility to web design, their usefulness on the mobile context is limited. As noted by Marcotte (2010), when a flexible design is rendered at viewport smaller than 800x600, the usability of the design degrades considerably. Text navigation can wrap unseemly, images crop, or become too small to be legible. The limitations of fluid and fixed-width design make evident that in providing usability to mobile users, adapting the layout is not an effective choice. Marcotte proposed a solution to this problem, and coined the term Responsive Web Design.

Responsive web design (RWD) is an approach to provide custom layouts across multiple devices. RWD delivers a single HTML document to any device, but applies different style sheets according with the screen size in order to optimize the layout for the given device. Designing with RWD produces a website that not only is resolution and device independent, but also adapts on the base of the features of the device that renders it. For instance, when a responsive site is viewed in a desktop browser, it may show a three-column layout and generic navigation elements such as vertical and horizontal menu bars. The same responsive site will rearrange the content in a single column with augmented links to facilitate tapping, if it is displayed on a smartphone. Some examples of responsive websites are shown in *Figure 1*.

The technical components of RWD are: Fluid grids, flexible images, and media queries. Fluid grids assign relative units (percentages or ems) to page elements instead of absolute units like pixels or points. Flexible images are also sized in relative units to prevent displaying out of their container. Media queries make possible to switch between different style sheets based on the features of the device in which the webpage is rendered, mainly the width of the screen.

RWD is closely related to the concepts of graceful degradation and progressive enhancement. Mobile-first responsive web design is a mainstream strategy, considered as best practice by the industry, which combines the concept of progressive enhancement with the RWD approach. The strategy consists on starting with an optimized baseline for mobile and enhancing progressively as the layout widens. The opposite side of Mobile-first is responsive retrofitting. In this strategy, the

design starts with the desktop version and adds max-width media queries to obtain the mobile version. This approach lines up with graceful degradation.

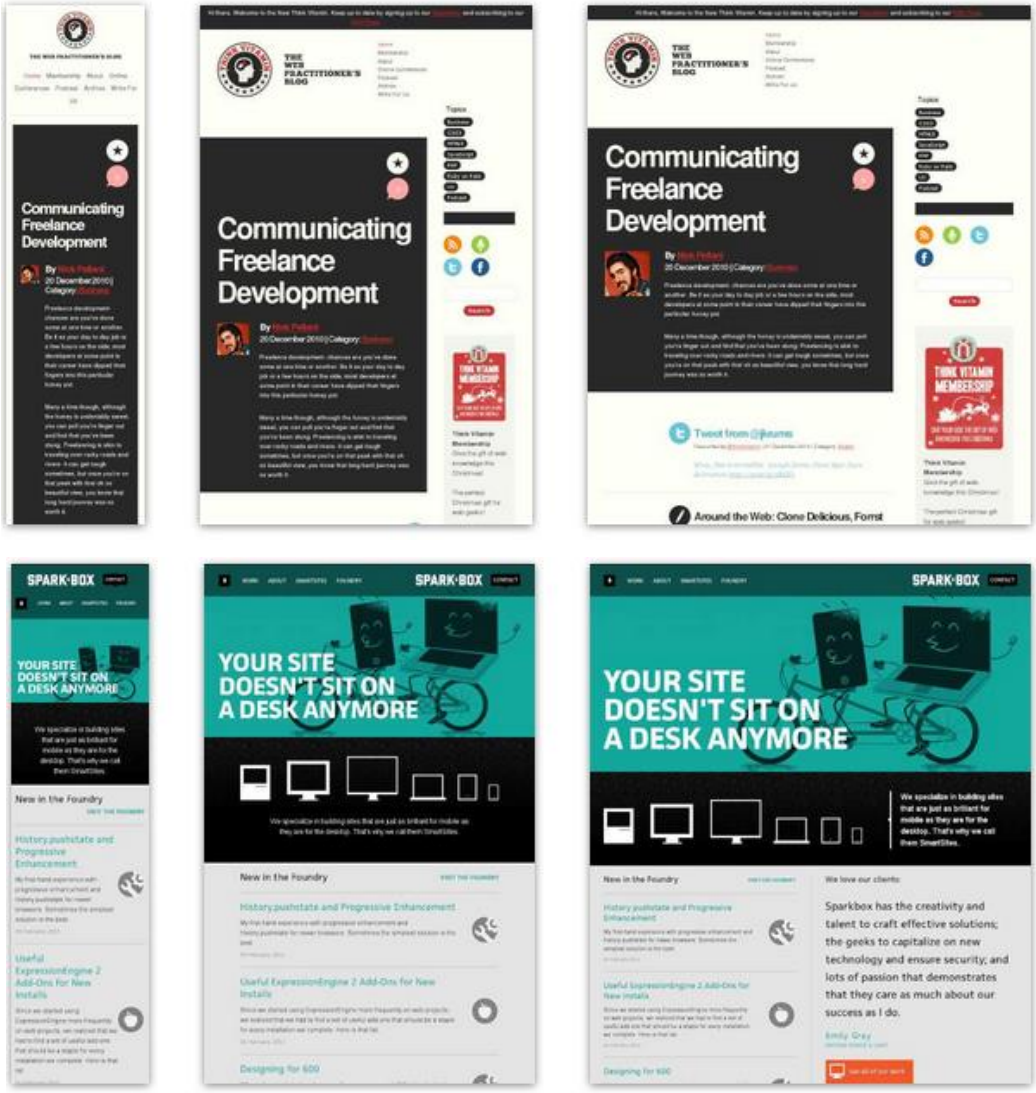


Figure 1. Examples of different layouts of responsive websites. (Media Queries)

RWD presents a convenient approach to multi-device design, but it does not provide a solution to other problems on mobile web design. Rudger (2014), Podjarny (2013), Mohorovicic (2013), and ActiveMobi (2014) report that in terms of performance, RWD scores lower than expected. Similarly, Robbins (2012) argues that RWD is good in adjusting the visual appearance, but in order to provide the best experience it requires optimization. Kim (2013) states that responsive websites are likely to take longer to load than their separate mobile sites. Although, RWD offers several benefits it is still far from become an optimal solution for mobile web design mainly because its low performance. Adaptive web design (AWD)

Gustafson (2013) first introduced the term and outlined it as a modern version of progressive enhancement. AWD builds on the principles of responsive web design but adds progressive enhancement's feature detection in order to create specific experiences for different viewports within the same website. Similar to responsive design, AWD delivers a single base markup (HTML) to all

devices, but it not only enhances the layout. Instead, it uses JavaScript to add advanced functionality and customization based on device capabilities, browser capabilities, and browser resolution. For instance, deliver high-definition images to high-definition displays (e.g. iPad's Retina display), and lower-quality images to standard-definition displays. In addition, through feature detection, AWD makes possible to obtain analytics and usage pattern. This allows designers to create targeted websites based on the information gathered by the website itself. Unlike RWD, adaptive websites make sure that devices load only the content that best suits that particular device. Thus, clients receive optimized experience according to their device's capability.

There are two approaches to adaptive design, one is server-side adaptation and the other is client-side adaptation. In server-side adaptation, the server takes care of the device detection and sends the appropriate template to the client. On the other hand, on client-side adaptation the client's browser performs the bulk of the adaptation. Server-side adaptation relies on a device detection library installed on the web server that returns the capabilities of the connecting device. This allows designer to construct a template that matches the capabilities of the device. Several major internet companies including: Google, Facebook, Amazon, eBay and Yahoo use server-side adaptation (Cremin, 2011). This suggests that server-side adaptation approach is an effective strategy for web mobile design.

Although RWD is costly (require more development) and might need more maintenance. It can be argued that the benefits of this approach surpass its disadvantages. One of the advantages of AWD is its ability of reusing code (different devices share the same set of HTML and JavaScript) which facilitates change management and testing. Other benefit is that its template approach ensures that one device receives only what it is appropriate for its capabilities. This has a direct impact in performance, and thus in user experience. In addition, AWD allows designers to create customized websites for specific devices and browsers. Garrett (2013) claims that AWD provides a number of benefits that web designers may take advantage of, among them:

- Add enhanced functionalities to the site by taking advantage of device features (e.g. the accelerometer) via APIs.
- A large portion of users utilize low-bandwidth connection, a targeted web design may improve users' experience by means of making the website lighter.
- Leverage interaction by exploiting touch-focused user interfaces.
- Provide segment -specific content by looking at analytics on usage patterns, like which device and operating system combination is the most popular.

C. Separate mobile site

The alternative to adapting approaches is building an independent website specifically designed for mobiles. Since the introduction of the iPhone in 2007, the creation of separate sites for mobile has become common practice (Garrett, 2013).

Separate mobile sites have their own URL (m. or mobile.) and typically provide a different content and behavior than the full website version. On mobile sites, the design privileges the most requested features in detriment of other less relevant content (Robbins, 2012). As a result, the two versions of the website deliver different experiences. *Figure 2* shows an example of mobile site and its full version.

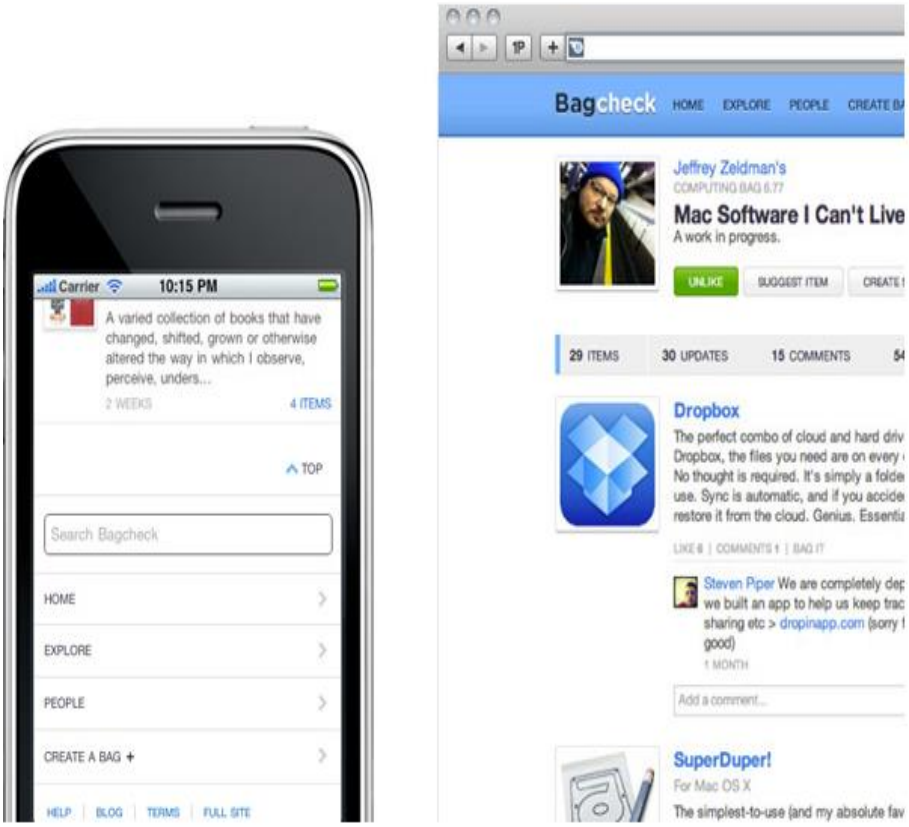


Figure 2 – Example of separate site (Wroblewski, 2011)

Mobile sites present several advantages over their full versions, to name a few:

a) Performance: Mobile site are specifically designed according to the capabilities of mobile devices. In addition, optimized multimedia content is included in order to reduce load times.
b) Navigation: By its very nature dedicated mobile sites are task-orientated, which helps users expect to find information quicker than on desktop sites.
c) Features: Mobile devices provide a number of technical capabilities that may be incorporated on the design. Location detection, device orientation, and touch are already present on mobile web browsers, and others like digital compass and ambient light awareness may be in the future.

Separated mobile sites may provide richer experiences through customized interfaces, and take advantage of mobile capabilities such us geolocation. However, there are drawbacks associated to mobile sites, among them:

a) Search optimization. Having separate URLs (desktop and mobile) complicates sharing links between users of the two versions of the site.
b) Redirection. Users need to be redirected from the desktop site to the mobile site, and vice versa. This adds to load time and impacts on search optimization.
c) Content forking. Having separate sets of content double the tasks of content management.

D. Comparative analysis

Three major strategies for mobile web design have been described: responsive web design, adaptive web design, and separate mobile sites. All approaches present advantages and disadvantages for web designers and end users. To understand which strategy better suit mobile web design is necessary to compare all approaches between each other.

Table 1, presents a summary of the technical aspects of each approach, and compares them in terms of technology requirements, constrains to user experience design, maintenance cost, implementation cost and, performance.

First, regarding the enabling technology, separate site requires server-side redirection to lead users to the optimized-separate version of the site (mobile or desktop) properly. This does not occur with the other two approaches where there is a single site. However, the difference between adaptive and responsive sites is that the former relies on JavaScript to detect the characteristics of the device and then select one of several variations of the site accordingly; whereas the latter employs CCS media queries to create layouts that scales to the size of the screen, the same media is delivered to all devices and adjusted at time of display. Correspondingly, with regards of resources needed, apart from HTML all strategies require specific technical skills such us server-side development and CSS frameworks (e.g. Bootstrap).

Second, the selected approach may constrain in different levels the design choices for the user experience. While responsive sites are constrained to content parity across all devices, adaptive sites may serve different content to different devices. On the other hand, separate sites are not constrained at all. Moreover, they can take advantage of unique features available in smart phones such as geolocation, and the accelerometer to design experiences specifically tailored for mobile consumers.

Third, in terms of costs, maintenance is higher for the separate-site approach because the whole point of this approach is to maintain two sites instead of one as in adaptive and responsive sites. Nevertheless, although responsive and adaptive seem to require a similar effort to maintain, because adaptive sites need to keep a pool of variations of the site, maintaining them is costlier than maintaining responsive sites. Similarly, there are differences in the incurred costs of implementation. Adaptive designs require constructing customized components, whereas responsive design keep a

single baseline. Consequently, the implementation cost of adaptive site is higher than building a responsive site, yet lower that building two separate sites.

Table 1. Technical comparison

	Separate site	**Adaptive design**	**Responsive design**
Technology (apart from HTML)	Server-side redirection	CSS JavaScript	CSS3
Resources	HTML/JavaScript developers	HTML/JavaScript/Server developers	HTML/JavaScript developers/CSS framework
UX design constrains	No constrains	Few constrains	Content parity
Maintenance cost	HIGH Manage two sites	LOW – MEDIUM Single set of content, plus customization	LOW One set of content
Implementation cost	HIGH Building two sites	MEDIUM – HIGH Building customized components	LOW – MEDIUM Single baseline, but testing may increase cost
Performance	HIGH	MEDIUM – HIGH Depends on technology	LOW

Note. Adapted from Mobile Website Design: Responsive, Adaptive Or both? (p.15), by EffectiveUI

Finally, with regards of performance, the approach with the lowest performance is responsive design. This is because in this approach the same media is served to all devices without considering their capabilities, which seriously tampers the performance of limited devices. Conversely, the separate-site approach has the highest performance where the design is optimized for each device.

As per user experience, *Table 2* shows a comparison between the three approaches with emphasis on pixel perfect design, content parity, design layout instances, and navigation.

Pixel perfect design refers to the ability to control every detail of the design down to individual pixels. With this regard, separate site provides a hundred percent of control over the design choices, whereas responsive design imposes more restrictions due its tightly coupled code. On the other hand, adaptive design is in between the former strategies.

Regarding content parity, separate site and adaptive design can deliver customized features and content to each device, in fact, they can serve unique content across devices. In contrast, responsive design keeps all content and features uniformly in all devices.

According to the number of design-layout instances, responsive design creates the largest number of different layouts because it designs all layouts for breakpoints sets in order to achieve flexibility. Similarly, adaptive design creates layouts for every major device type. However, it provides less

layouts than responsive design. Conversely, separate sites have the least number of layouts (one for each site).

With regard of navigation, separate site and adaptive design optimize navigation for each device. Whereas, navigation in responsive design may be problematic if the strategy is degrading from the desktop to the mobile version. Although, navigation usability issues can be reduced by using mobile first strategy.

Table 2. User experience comparison

	Separate site	**Adaptive design**	**Responsive design**
Pixel perfect design	Control total	More control than responsive	Less control Tightly coupled code to design
Content parity	Device-specific content and features	Content and features may be customized for specific devices	Content is the same on all devices
Design layout patterns	One for each device	One for group of devices	One for each set of breakpoints
Navigation	Optimized for mobile devices	Optimized for each device	May present navigation issues, unless mobile-first strategy used

Note. Adapted from Mobile Website Design: Responsive, Adaptive Or both? (p.16), by EffectiveUI

Comparative analysis shows that there is a trade-off between cost and user experience. A suitable strategy would be that which provides the best outcome at the lowest costs. Nevertheless, it is recommended that in addition to technical and user experience aspects, business factors such as budget, market goals, and context of application need to be considered when deciding. For instance, one possible scenario is a small company, which already has a website and needs to be mobile friendly quickly yet cost effective. From a cost perspective, responsive design would be the candidate due to its low costs of maintenance and implementation. However, it will fail in providing the rapid implementation that the business requires. In this case, the best strategy should be a separate site. Conversely, a responsive or adaptive design would be the appropriate choice in the case of a medium to large company that is renovating its website from scratch.

4. Conclusions

Three strategies for mobile web design have been introduced: Responsive web design, an approach that adapts page layout based on the screen size; adaptive web design, a strategy that optimizes the webpage according to the capabilities of the device; and separate site in which two sites are built, one for desktops and one for mobile.

Each strategy presents benefits and limitations in terms of cost and user experience, which, along with business considerations should be evaluated when selecting a strategy for designing a mobile web site.

As per the technical analysis (*Table 1*), separate site has the highest costs of implementation and maintenance yet it provides a superior performance. On the other hand, adaptive design shares the advantages of responsive design regarding ease of maintenance and implementation; and adds the ability to customize content for specific devices. However, as responsive design it could be limited in tailoring experiences to mobile websites.

Similarly, when comparing user experience (*Table 2*), separate site provides full control, allowing perfect pixel design, and enables to create optimized navigation and customized content. As well as separate site, adaptive design offers customization capabilities in content and navigation, yet it restricts the design choices, although not much as responsive designs.

As responsive web design and adaptive web design are relatively novel approaches. Further research might explore the applications of these strategies in other contexts, e.g. accessibility. In addition, further quantitative studies on performance are required to assess these strategies exhaustively.

Bibliography

A. Artail, & M. Raydan. (2005, November). Device-aware Desktop Web Page Transformation for Rendering on Handhelds. *Personal Ubiquitous Computing, 9*(6), 368-380.

ActiveMobi. (2014). *Dedicated Mobile Vs. Responsive Websites – the State of Affairs*. Retrieved from http://activemobi.com/blog/dedicated-mobile-vs-responsive-websites-state-of-affairs

C. Wong, H. Chu, & M. Katagiri. (2002). A Single-Authoring Technique for Building Device-Independent Presentations. *Proc. of W3C Workshop on Device Independent Authoring Techniques*, *220.* St. Leon-Rot. Retrieved from http://www. w3. org/2002/07/DIAT/posn/docomo.pdf

Champeon, S. (2003). *Progressive Enhancement and the Future of Web Design*. Retrieved from http://www.hesketh.com/publications/progressive_enhancement_and_the_future_of_web_design.html

CISCO. (2014). *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014–2019 White Paper.* Retrieved from http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.pdf

Cremin, R. (2011). *Mobile Web Content Adaptation Techniques*. Retrieved from http://mobiforge.com/design-development/mobile-web-content-adaptation-techniques

EffectiveUI. (2014). *Mobile Website Design: Responsive, Adaptive Or both?* Retrieved from http://www.slideshare.net/effectiveui/mobile-website-design-responsive-adaptive-or-both

Gardner, B. (2011). Responsive web design: Enriching the user experience. *Sigma Journal: Inside the Digital Ecosystem, 11*, 13-19.

Garrett, R. (2013). *Pro SharePoint 2013 Administration.* Berkeley, CA: Apress.

Gustafson, A. (2008). Understanding progressive enhancement. *A List Apart, 269*.

Gustafson, A. (2013). *Adaptive Web Design.* Chattanooga, TN: Easy Readers.

Kim, B. (2013). Responsive Web Design, Discoverability, and Mobile Challenge. *Libr. Techol. Rep., 49*, 29.

M. Florins, & J. Vanderdonckt. (2004). Graceful Degradation of User Interfaces As a Design Method for Multiplatform Systems. In ACM (Ed.), *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent User Interfaces*, (pp. 140-147). Funchal, Madeira, Portugal.

Marcotte, E. (2010). *Responsive Web Design*. Retrieved from http://alistapart.com/article/responsive-web-design

Media Queries. (n.d.). *Popular - Media Queries.* Retrieved 10 7, 2016, from http://mediaqueri.es/popular/

Mohorovicic, S. (2013). Implementing responsive web design for enhanced web presence. *36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, (pp. 1206-1210).

Podjarny, G. (2013). *Real World RWD Performance – Take 2*. Retrieved from http://www.guypo.com/real-world-rwd-performance-take-2/

Robbins, J. (2012). *Learning Web Design: A Beginner's Guide to HTML, CSS, JavaScript, and Web Graphics* (4th ed.). San Francisco: O'Reilly Media, Inc.

Rudger, A. (2014). *You can Run, but You can'T Hide from Performance*. Retrieved from http://www.keynote.com/resources/blog/2014/february/you-can-run-but-you-cant-hide-from-performance/

Weiss, A. (2006). The web designer's dilemma: when standards and practice diverge. *netWorker, 10*, 18-25.

Wells, J., & Draganova, C. (2007). Progressive enhancement in the real world. *Proceedings of the Eighteenth Conference on Hypertext and Hypermedia*, (pp. 55-56).

World Wide Web Consortium. (2008). *Mobile Web Best Practices 1.0*. Retrieved from http://www.w3.org/TR/mobile-bp

Wroblewski, L. (2011). *Why Separate Mobile & Desktop Web Pages?* Retrieved from http://www.lukew.com/ff/entry.asp?1390

Y. Chen, X. Xie, W. Ma, & H. Zhang. (2005, January). Adapting Web Pages for Small-Screen Devices. *IEEE Internet Computing, 9*(1), 50-56.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.358 - 373
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363

Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

VALE-Emotions: Aplicación móvil de enseñanza para individuos con Desordenes del Espectro Autista

(VALE-Emotions: Teaching mobile application for individuals with Autism Spectrum Disorders)

Diana Olmedo-Vizueta[1], Jorge Hernandez-Ambato[1], Diego Ávila-Pesantez[1], Eleonora Bilotta[2], Pietro Pantano[2]

Abstract:
In this paper, the development of an interactive mobile application to strengthen the learning of emotion recognition in children with Autism Spectrum Disorders (ASD) is presented. This App is part of an authoring Virtual Advanced Learning Environment (VALE) devoted to support teaching and learning activities. VALE-Emotions App is based on the six basic emotions studied by (Paul Ekman, 1992), but it is not only limited to the recognition of such emotions in their highest intensity levels. In fact, the app allows for determining the effective recognition of these emotions at different intensity levels. Such intensity levels are generated by an authoring Dynamic Facial Expressions (DFE) coding using virtual avatars. Each learning activity is carried out through training and tests applications, giving to the users the opportunity of freely developing, learning, and strengthen social skills in an entertaining way. The results of the experimentation of the VALE-Emotions on subjects with ASD are also reported. In general, the participants showed efficient response at the stimulus during the developed activities obtaining a high and fast recognition of certain emotions.

Keywords: Emotions Recognition; Autism; Dynamic Facial Expressions; Mobile Application;

Resumen:
En este artículo, se presenta el desarrollo de una aplicación móvil interactiva para fortalecer el aprendizaje de reconocimiento de emociones en niños con Desordenes del Espectro Autista (ASD, en inglés). Esta App forma parte de un Avanzado Ambiente Virtual de Aprendizaje (VALE, en inglés), propuesto por los autores para soportar actividades de enseñanza y aprendizaje. La App VALE-Emotions está fundamentada en las seis emociones básicas estudiadas por (Paul Ekman, 1992), pero no está limitada solo al reconocimiento de tales emociones en sus máximos niveles de intensidad. De hecho, la App permite determinar el reconocimiento efectivo de estas emociones a diferentes niveles de intensidad. Tales niveles de intensidad son generados por una codificación propuesta por los autores mediante un DFE (Expresiones Faciales Dinámicas, en español) usando avatars virtuales. Cada actividad de aprendizaje es realizada a través de aplicaciones de entrenamiento y evaluación, dando la oportunidad a los usuarios de desarrollar, aprender y fortalecer libremente habilidades sociales de una manera entretenida. Además, se reportan los resultados de experimentación usando VALE-Emotions en individuos con ASD. En general, los participantes mostraron una eficiente respuesta a los estímulos durante las actividades desarrolladas obteniendo un alto y rápido reconocimiento de ciertas emociones.

Palabras clave: Reconocimiento de Emociones; Autismo; Expresiones Faciales Dinámicas; Aplicaciones Móviles;

[1] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador ({diana.olmedo, jorge.hernandez, davila}@espoch.edu.ec)
[2] Università della Calabria, Rende – Italia ({eleonora.bilotta, piepa}@unical.it)

1. Introduction

Nowadays, several fields of Special Education are using virtual teaching with advanced technologies. In fact, researchers, developers' systems, and educators are working hard to provide innovative and useful tools that offer immediate assistance to patients with special needs as evidenced in (Bilotta, Gabriele, Servidio, & Tavernise, 2010; Chen, Chen, Wang, & Lemon, 2010; Porayska-Pomsta et al., 2012). In particular, these works have specific expertise in planning educational activities to support individuals with Autism Spectrum Disorders (ASD).

In this context, different studies confirm that individuals with ASD have the ability for using and interpreting satisfactorily mobile applications and virtual environments (Parsons, Mitchell, & Leonard, 2004; Saiano et al., 2015; Stichter, Laffey, Galyen, & Herzog, 2013). Nevertheless, most of the ASD subjects have difficulty to understand the mental and emotional state of other persons around them (Uljarevic & Hamilton, 2013). For this reason, some studies have been carried out to analyze the identification of emotions in individuals with ASD, even inside of social situations (Bertacchini et al., 2013; Harms, Martin, & Wallace, 2010; Kim et al., 2014). However, some of these studies have been only tested up to 10 levels of intensity for each emotion (Kim et al., 2014).

When talking about emotions recognition, it is inevitable to mention the psychologist Paul Ekman due to his studies on categorization of "Basic Emotions". Ekman describes both the characteristics used in distinguishing one emotion from another and the characteristics shared by all emotions (Paul Ekman, 1984, 1992, 1999a; Paul Ekman & Davidson, 1994). In this context, Ekman & Friesen were the pioneers in the development of measurement systems for facial expression (P Ekman & Friesen, 1976). This procedure is now known as Facial Action Coding System (FACS). It describes any facial movement in terms of minimal Action Units (AUs) based on anatomical analysis. The AUs are the specific facial muscle movements, and the measurement is a descriptive analysis of their behavior (P Ekman, 1982; Stewart Bartlett, Hager, Ekman, & Sejnowski, 1999). The FACS basically can differentiate all possible visually distinguishable facial movements.

In the light of this, an application (App) devoted to support teaching and learning activities on emotions recognition for individuals with ASD is reported in this work. This tool is part of an authoring Virtual Advanced Learning Environment (VALE). The App, nominated VALE-Emotions, has been developed for the Android mobile platform and consists of three educational levels (see *Figure 1*). At a first glance, it is aimed for stimulating and facilitating the understanding and recognition of six basic facial emotions: Joy, Sadness, Anger, Fear, Disgust, and Surprise (Paul Ekman, 1999a). Such emotions have been digitally modeled using avatars, following an authoring experimental set of parameters based on two settled codifications: 1) Motion Picture Experts Group - v4 (MPEG-4) and 2) Facial Action Coding System (FACS). In a certain case of this study,

each emotion presents a sequence of 100 pictures (intensity levels) producing a Dynamic Facial Expressions (DFE) collection.

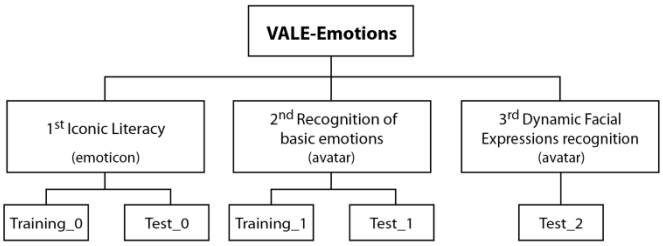


Figure 1. Schematic organization the VALE-Emotions App levels.

To assess the effectiveness of VALE-Emotions App, two hypotheses were proposed. The first one assumes high general success emotions recognition of High Functional (HF)-ASD subjects. The second one assumes that it is possible to determine the intensity level at which an effective recognition (≥50%) of emotions inside the DFE series occurs. In this way, training and test procedures through VALE-Emotions were implemented using mobile devices in real scenarios with HF-ASD participants to collect relevant information for the evaluation of the App functionality and hypothesis. Furthermore, the interaction with such mobile devices allows for the application's portability and touch sense experiences. In fact, this is an advantage of VALE-Emotions App since it has been demonstrated that mobile technologies enhance manipulation, eye-hand coordination, perception and intuition (Bertacchini et al., 2013; Kim et al., 2014; Porayska-Pomsta et al., 2012).

The rest of this work is organized as follows: in section 2, the background of the VALE-Emotions' expressions generation is outlined, including an explanation of the authoring DFE codification. Also, descriptions of the App interfaces and experimentation methodology are performed. Finally, in section 3, the validation of the App and hypothesis will be discussed through the results.

2. Methodology

2.1 Emotional Expression Codification

An authoring parameterization for facial expressions applied to avatars is introduced in this section. It is based in two settled codes which are also reviewed below.

2.1.1. MPEG-4 Codification System

The human avatars were linked to the Face and Body Animation (FBA) international standard as part of the MPEG-4 ISO/IEC-14496 (1999). In fact, the MPEG-4 FBA provides the details for the animation of human or human-like characters through the Face Animation Parameters (FAPs) and Body Animation Parameters (BAPs). Continuing with the FAPs, these are composed by two high-level FAPs and 66 low-level parameters drawn from the study of minimal facial actions. In fact, these parameters are closely related to facial muscle actions (Giacomo, Joslin, Garchery, &

Magnenat-Thalmann, 2003). Therefore, the FAPs and their respective range of control parameter values describe the movement of facial parts in virtual human or human-like animations.

Moreover, the MPEG-4 includes the Facial Definition Parameters (FDPs), which in turn describes the Feature Points (FPs) related to the human face. In *Figure 2*, the FPs applied to the girl face avatar modeled for this study are presented. It is worth to mention that according to the MPEG-4, the FAPs control the key FPs action, which are used to produce animated vises and facial expressions, as well as head and eye movement (Moussa & Kasap, 2010).

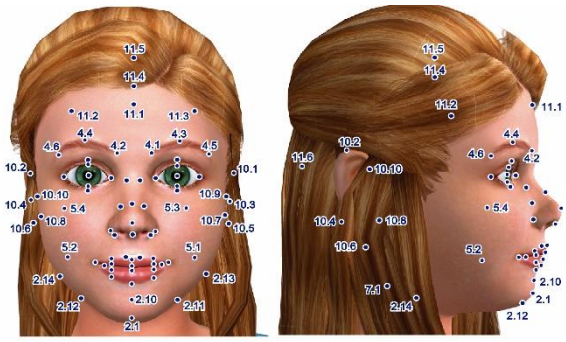


Figure 2. Facial Feature Points (FPs) applied to the avatar.

2.1.2. Facial Action Coding System (FACS)

The other well diffused and practiced codification system used for representing natural expressions of human faces has been taken from the known studies of Paul Ekman (Paul Ekman, 1992, 1999a, 1999b, 2003). In such studies, the encoding of 44 facial muscle's movements that serve to generate any emotion are described. To detect such movements, Ekman has developed the human-observer-based system known as FACS. This coding system encodes muscles individually calling them Action Units (AUs). In *Table 1*, a description of the FACS and AUs applied to anger emotion is presented.

Table 1. Example of FACS and AUs from Ekman's study (Paul Ekman & Friesen, 1976).

Emotion	AUs	AUs Description	Final Expression
ANGER	4+5+7+23	AU4: brows lowered and drawn together AU5: upper eyelids are raised AU7: lower eyelids are raised AU23: lip tightener	

2.1.3. Authoring Parameterization Model

In this section, a parameterization model for emotional expression in virtual human faces is proposed. This model is based on frameworks of the FACS and MPEG-4 through the AUs and the FPs, respectively. At this purpose, the software called iClone was used to animate the six basic emotions through a virtual girl avatar. In this way, in the *Figure 3a*, it is possible to observe the FPs linked to the face sections defined by iClone for a girl avatar. On the other hand, the face sections of the avatar were associated to the AUs of Ekman as shown in the *Figure 3b*. It is worth to note

that each face section was renamed using the labels from "A" to "U" to reference our parameterizing. An example of such relations for the anger emotion parameterization ranges are shown in *Table 2*.

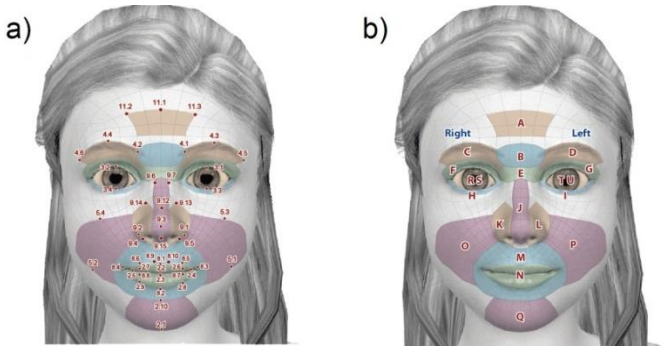


Figure 3. Female avatar in iClone, showing: a) FAP codification of MPEG-4 system and b) AUs of FACS.

Table 2. Example of Proposed Parameterization Range for Anger Emotion based on AUs and FPs.

Emotion	iClone Animation	AUs from Ekman	Section Face from iClone	Feature Points ($FP_{x,y}$) from MPEG-4	Proposed DOF Parameterization Ranges using iClone [DOF_{min}, DOF_{max}]
ANGER		AU4+ AU5+ AU7+ AU23	A+B+C+D F+G F+G N	(11.1)-(11.3),(4.1)-(4.6) (3.13)-(3.14) (3.13)-(3.14) (2.2)-(2.9),(8.2)-(8.10)	[0,-450],[0,-180],[0,-450],[0,-450] [0,108],[0,108] [0,108],[0,108] [0,-450],[0,180],[0,180],[0,180],[0,180],[0,360]

Therefore, through iClone, several ranges of values called Degree-Of-Freedom (DOF) were stated for the FPs. Thus, every DOF is related with a specific FP and defines its value of translation or rotation movement, which is described by the AUs. In this way, the generation of the proposed DFE parameter values for each $FP_{x.y}$ was obtained by:

$$FP_{x.y} = DOF_{min} + \left[\frac{DOF\ max - DOF_{min}}{N}\right] * i\ , \qquad (1)$$

with $i = 1,2,3 \cdots N$, where DOF_{max} and DOF_{min} are the extreme values of the DOF's range (see *Table 2*), and *N* is the number of images to compose the DFE sequence for each emotion (i.e. for anger emotion sequence of 100 images, the $FP_{11.1}$ in the 50th image is -225). It is worth to mention that DOF_{min} and/or DOF_{max} can be numbers different than zero, positive or negative.

2.2. VALE-Emotions App Description

In particular, three different layouts interfaces and activities have been programmed for the VALE-Emotions App using Android Studio as described below.

2.2.1. Main Interface

The main interface of the VALE-Emotions App is shown in *Figure 4a*. The layout of this interface is formed by text and number fields for entering the patient data to be stored in the output results data file (e.g. Code, Name, Age, and Sex). Due to these data are important information for

researching and diagnosis purposes, the activity of this interface controls that the fields have been saved by the user before launching the training or tests activities.

2.2.2. Menu and Settings Interface

All the activities can be entered from the menu option located in the top-right corner of the main interface (see *Figure 4a*). The “Settings” interface is shown in *Figure 4b*. In this activity, the feedback audio language for the training/test activities can be set among Italian, Spanish, and English. Also, the visualization time of each emotion expression displayed during training/test activities can be adjusted as well as the number of pictures generated by the DFE to be presented.

2.2.3. Interfaces of the Training and Test Activities

As mentioned in section 1, three different learning levels are enclosed into the VALE-Emotions App. The first activity is aimed for Icon Literacy of the patient due to a certain set of icons that is further used in the interaction with the next two activities. The standard icons used are extracted from the denominated “Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación” (SAAC, in Spanish). Thus, as shown in *Figure 4c*, the “Training 0” and “Test 0” activities trains and assesses the patient on the Icon Literacy supported by an audio feedback option, respectively. It is worth to note that the six basics emotions are associated with concrete and unique icons.

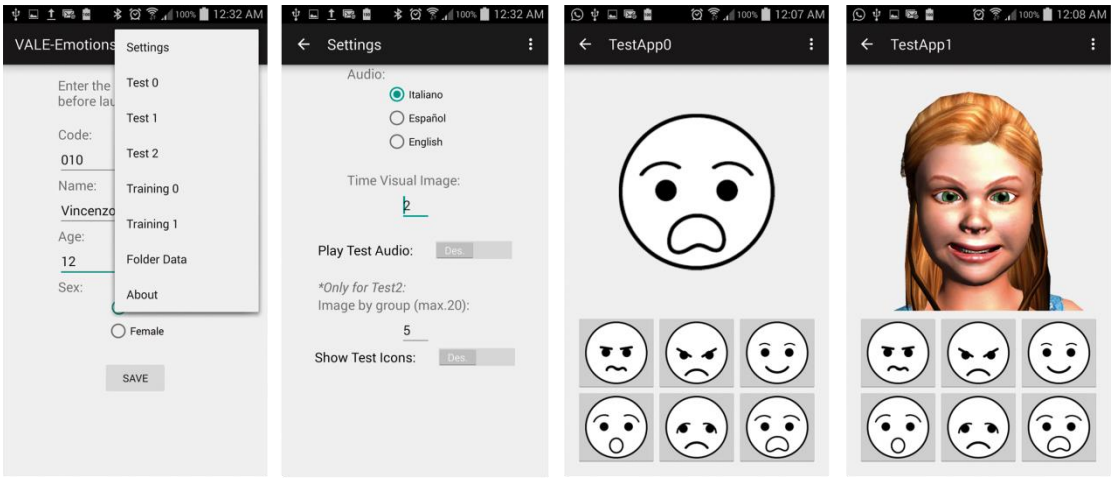


Figure 4. VALE-Emotions App interfaces: a) Main and Menu interface, b) Settings interface, c) Iconic Literacy interface and d) Emotion Recognition interface for DFE in training/test 1 and 2.

Furthermore, the "Traning 1" and "Test 1" activities are aimed to practice and evaluate the recognition of the basic emotions expressed by virtual avatars. The expressions involved in these activities represent the highest intensity levels of the six basic emotions generated through the DFE (see *Figure 4d*). Finally, the activity "Test 2" is oriented to assess the recognition level of the patient among a set of twenty pictures for each basic emotions obtained through the DFE parameterization model presented in section 2.1.3. It is worth to mention that pictures are randomly displayed to avoid any particular relation between the order presentation and pictures sequence.

The data generated from the patient interaction with the training/test activities are saved in CSV files within the mobile device storage system into a folder named "VALE-Emotions Data V010".

2.3. Experimentation of VALE-Emotions in Special Education

The study was applied in an assistance center in the south of Italia (Crotone Region). The collaboration work was aimed to support learning activities of people with High-Functioning Autism Spectrum Disorder (HF-ASD). Several work meetings with these groups were maintained through personal interaction with the participants as shown in *Figure 5*.

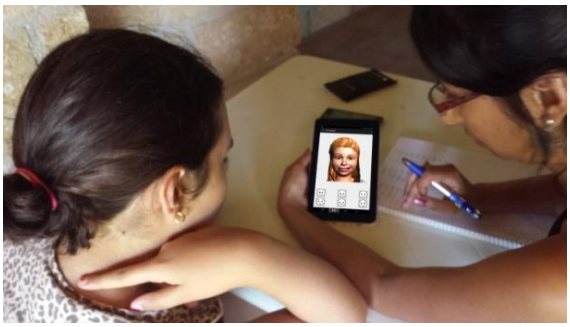


Figure 5. Interaction with a participant from the “Associazione Autismo KR” with HF-ASD diagnostic.

2.3.1. Subjects

The first participants group was composed of 19 subjects (15 males (78.9%) and 4 females (21.1%)) aged between 5 and 18 years (M=10.58, SD=3.68) with HF-ASD diagnosis done by their assistance center. A second group of participants was composed of 20 Typically Development (TD) subjects as a control group (11 males (55%) and 9 females (45%)) aged between 3 and 5 years (M=3.75 (SD=0.72)). The requirements for the selection of subjects in each participant group were: 1) having the consent of parents or guardians, 2) not suffering any significant sensory or motor impairment, and 3) a full-scale IQ greater than 70. Unfortunately, IQ data of the TD and HF-ASD groups were not available until the redaction of this work. However, to complete the comparative information of *Table 3*, IQ values reported in literature of works with similar characteristics groups were used (Kim et al., 2014).

Table 3. Mean Age and IQ of the Participant Groups.

Variables	TD (Control)	HF-ASD
N	20	19
Age	3.75 (0.7)	10.58 (3.7)
IQ	115.2 (10.3)*****	110.6 (15.3)*****

*Data extracted from (Kim et al., 2014).

2.3.2. Procedure

Participants have been assessed individually in similar conditions. All the participants worked with the researchers using the VALE-Emotions App during three months since July 2015. All sessions were conducted by a researcher and took place in a familiar room for the participants. The room was equipped with adequate light conditions and without distractions. A professional by each

center (educator or psychologist) was also present during the experimentation to avoid stress on the participants for being in front of unfamiliar people to them. Participants were asked to sit in a chair in front of a table upon which it was placed the Tablet running the App. In this experiment, the participants were asked to recognize six basic emotions (Anger, Disgust, Joy, Fear, Sadness and Surprise) each time these were displayed on the screen. The selection of the desired answer by the participants was done through iconic buttons pressing. The experimentation activities were performed in three levels. The first and second levels consisted of training and test activities while the third one only presented a test activity. Training/test stages lasted 15 minutes maximum and they are described below.

A) Iconic Literacy Stage

The main scope is to identify whether the user known the basic emotions represented in its simplest form called "emoticons." During the Training-0, the user pushes each of the six emoticon buttons found on the bottom of the screen (see *Figure 4c*). An enlarged image corresponding to the selected button is displayed in the center of the screen. At the same time, an auditory stimulus saying the emotion's name is listened from the app. To complete this activity, the evaluator explains to the participant every expression in a detailed way. Thus, only in this training part, the participant received a gesture or physical guidance.

B) Recognition of Basic Emotions Stage

The purpose of this activity is to link the displayed emotion picture on the screen center with the corresponding iconic button (see *Figure 4d*). During the Training-1, the user touches each of the six buttons found on the bottom of the screen. At this time, an avatar face expression corresponding to the selected button is displayed, while an auditory stimulus says the emotion's name. Also in this phase, the evaluator explains to the participant every shown expression. Afterward, in the Test-1 activity, the app displays the six avatar face emotions in a random way. The auditory stimulus is deactivated to allow an intuitive recognition of the emotions. The user is required to identify the emotion presented through the corresponding button touching. If the user correctly identifies the emotion, a positive visual stimulus symbol appears, and another random emotion is visualized. Conversely, if the button selected is incorrect, a negative visual stimulus symbol appears and the same emotion picture is visualized again until it is correctly identified. The results interactions are stored automatically. It is worth to mention that only the maximum emotional intensity of the DFE are presented for each emotion.

C) Dynamic Facial Expressions Recognition Stage

It is worth to note that this stage is the most important and representative for this study. It is intended to determine the level of effective recognition of intensity emotions generated by the DFE. These mentioned intensities correspond to each set of the parameterized images representing

facial actions process to form a natural facial expression. Series of maximum 20 intensity expressions per emotion (max. 120 pictures) are randomly displayed in the center of the screen (see *Figure 4d*). The participant is required to recognize each emotion picture having only one chance to do it. Visual and audio stimulation are deactivated to assess the intuitive emotional recognition of the patients. This level of test must be applied only to patients who achieved more than 50% of correct answers in Test-1. It is worth to mention that VALE-Emotions tool controls that pictures are not presented repeatedly as well as adjusting the number of pictures to shown.

3. Results and Discussion

In this section, a descriptive analysis of data, from the above mentioned three stages, collected through of VALE-Emotion App experimentation is performed. The main dependent variable of the VALE-Emotion is the percentage of emotion recognition scores. This variable was individuated through the quantification of rights and wrongs answers obtained during each Test. Thus, the percentage of emotion success recognition of the six basic emotions analyzed for TD and HF-ASD groups are presented below. Moreover, comparison of the obtained results between the participant groups is performed. Furthermore, based on the experimental data, a generalized calculation of the effective recognition's intensity level of emotional expressions generated by DFE is presented.

3.1. Iconic Literacy Results

The average percentage of success recognition of the six basic emotions represented by emoticons, obtained in the Tests-0 for each group, is summarized in *Table 4*. In the first stage, a high recognition of emotions in HF-ASD group was observed. This percentage recognition was higher than 80% for all emotions. This means that the iconic literacy campaign was successful for the participants of this group.

Table 4. Results obtained in the Tests-0 of VALE-Emotions App

Emotion	TD		HF-ASD	
	Success %	SD	Success %	SD
ANGER	96.93	9.3	91.05	22.33
DISGUST	87.87	22.57	86.55	24.08
FEAR	95	16.31	82.22	26.14
JOY	92.11	19.54	87.52	26.10
SADNESS	94.44	17.15	86.20	21.65
SURPRISE	96.05	17.21	92.13	15.78

3.2. Recognition of Basic Emotions Results

Regarding this stage, the average percentage of success recognition of the six basic emotions during Test-1 is summarized in *Table 5* for each participant group. Such emotions were animated in a girl avatar using the maximum intensity levels of the DFE.

For the HF-ASD group, the greater recognition was for the Joy emotion (M=92.11, SD=19.54), near followed by Anger (M=87.81, SD=28.12) and Surprise (M=85.09, SD=26.45) emotions. These results show a strong congruence with works reported in (Kim et al., 2014; Serret et al., 2014). This suggests that HF-ASD subjects often seem relatively similar to their counterparts regarding the recognition of emotions (Harms et al., 2010). This last statement is against the belief that children with HF-ASD often show impaired in emotion recognition (Kanner, 1943; Kim et al., 2014; Uljarevic & Hamilton, 2013).

Table 5. Success Results obtained in Test-1 of VALE-Emotions App

Emotion	TD		HF-ASD	
	Success %	SD	Success %	SD
ANGER	74.92	32.36	87.81	28.12
DISGUST	66.88	33.48	84.91	21.47
FEAR	61.47	34.68	75.39	31.79
JOY	93.86	14.92	92.11	19.54
SADNESS	93.52	19.08	81.49	24.46
SURPRISE	84.38	30.10	85.09	26.45

Due to the inconsistencies presented by several researchers regarding the recognition of emotions in subjects with Autism, in the work reported in (Harms et al., 2010), it has been conducted detailed research that seeks to explain these conflicting results. The key seems to be in the use of compensatory mechanisms used by individuals with ASD (Grossman, Klin, Carter, & Volkmar, 2000; Vesperini et al., 2015). These mechanisms can be verbal mediation or feature-based learning. This statement is supported by the evidence found that people with ASD decode facial expressions differently than Typically Developing (TD) individuals (Fink, de Rosnay, Wierda, Koot, & Begeer, 2014). In this way, the largest children with HF-ASD often may submit equality relatively similar to that of their contemporaries with TD as regards the recognition of emotions. These arguments support the results obtained in the experimentation performed.

3.2.1. Determination of Response Time

In order to determine other parameters to assess the recognition of the emotions in the Test-1 between the subjects inside of each group, it also has been considered the single time employed to perform the recognition of each expression. For this purpose, the response time value has been measured, which is the difference between the time registered when the subject touches the button on the screen and the time registered when the emotion was displayed on the screen. In one hand, the Mean Responses Time (MRT) and its Standard Deviation (SD) for Anger emotion from both participants groups are plotted in *Figure 6a*. On the other hand, the scattering of single responses time of all the participants is shown in *Figure 6b*. Thus, these information is summarized for each emotion in *Table 6* considering each participant group.

Table 6. Mean Response Time of the hits recognition per participant groups and per emotion in Test-1.

Group	ANGER		DISGUST		FEAR		JOY		SADNESS		SURPRISE	
	MRT	SD	MRT	SD	MRT	SD	MRT	SD	MRT	SD	MRT	SD

	[s]		[s]		[s]		[s]		[s]		[s]	
TD	5.972	6.175	6.097	5.130	8.661	7.248	5.094	7.124	5.924	5.789	4.958	4.291
HF-ASD	2.058	1.434	3.150	2.609	3.402	3.077	2.220	1.219	2.254	2.183	2.028	1.488

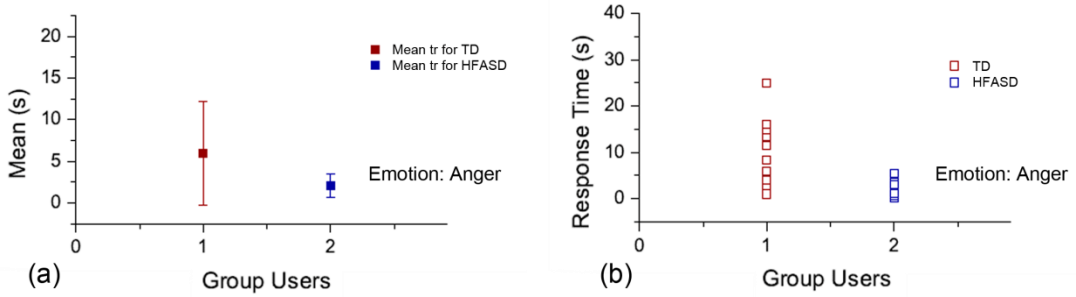


Figure 6. Single responses time of the hits recognition per participant groups for Anger emotion in Test-1.

It is worth to highlight that based on the data from *Table 6*, the participants of the HF-ASD group were those who more quickly recognized all the emotions during the evaluation of the Test-1. Also, it is worth noting that the spread of data was less for the same group, which means that the recognition was similar among participants who formed such group.

3.2.2. Screening of Rated Participants for Test-2

As mentioned in section 2.3.2-C, a screening to evaluate the subjects from each group that were able to perform the Test-2 was done. Regarding this evaluation, the discrimination criteria was that only those subjects that reached a higher evaluation than 50% in the average of successes emotion recognition in the Test-1 were able to continue with the Test-2. The success percentage average was determined through the addition of all the correct answers divided into the total number of interactions. The results of this screening process for each participant group are presented in the *Figure 7*. Thus, the 90% of TD participants group and the 84.2% of HF-ASD participants group were able to continue with the Test-2.

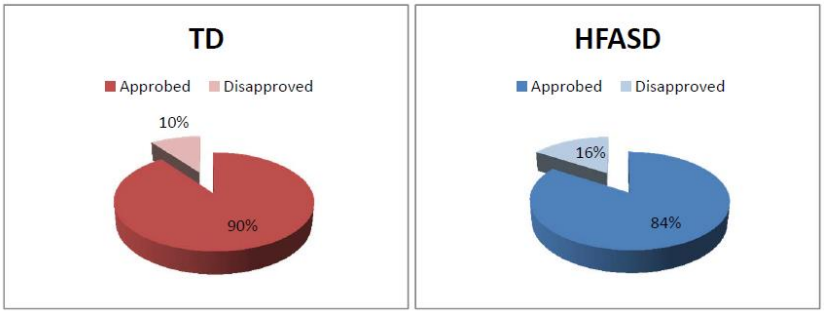


Figure 7. Screening of the approved participants able to continue with Test-2.

3.4. Dynamic Facial Expressions Recognition Results

The results obtained in the Test-2 are the strongest point of the present study. The main interest was to identify in which intensity level of the DFE sequence generation, for individual emotions, an acceptable recognition for each participant group was performed. Thus, an individual analysis of each emotion, considering the percentage of hits according to each intensity level (005,

010,⋯,100), per each participant group was done. Summary of these results are presented in *Table 7* for avatar faces number: 010, 020, 030, 040, 050, 060, 070, 080, 090, and 100.

Table 7. Summary of Percentage Success Recognition in DFE per emotion for TD and HF-ASD groups.

Face Number	ANGER		DISGUST		FEAR		JOY		SADNESS		SURPRISE	
	TD	HF-ASD	TD	HF-ASD	TD	HF-ASD	TD	HF-ASD	TD	HF-ASD	TD	HF-ASD
010	57.1	66.7	0.0	0.0	20.0	0.0	62.5	100.0	50.0	25.0	50.0	20.0
020	70.0	0.0	25.0	33.3	14.3	0.0	100.0	50.0	71.4	100.0	50.0	50.0
030	66.7	14.3	33.3	57.1	20.0	22.2	71.4	100.0	70.0	75.0	40.0	50.0
040	75.0	33.3	55.6	71.4	33.3	25.0	66.7	50.0	100.0	80.0	16.7	50.0
050	85.7	85.7	77.8	50.0	50.0	62.5	100.0	75.0	100.0	100.0	50.0	85.7
060	100.0	77.8	100.0	57.1	28.6	75.0	71.4	66.7	87.5	100.0	100.0	50.0
070	77.8	100.0	50.0	66.7	80.0	60.0	100.0	75.0	88.9	100.0	66.7	100.0
080	83.3	50.0	88.9	100.0	75.0	60.0	100.0	75.0	90.0	100.0	63.6	80.0
090	75.0	71.4	66.7	66.7	62.5	50.0	87.5	100.0	83.3	100.0	87.5	50.0
100	100.0	62.5	80.0	57.1	72.7	50.0	100.0	75.0	87.5	100.0	100.0	100.0

3.4.1. Determination of Intensity Levels

To objectively determine at which intensity level, an acceptable recognition for each emotion within a certain DFE sequence has occurred, a mathematical data analysis technique was used. The latter was based on obtaining certain parameters of a power curve fitting on the experimental data. An example of this procedure for Anger emotion is shown in *Figure 8*. Such fitting expression is defined as

$$R_{\%} = a.{N_F}^{b}, \qquad (2)$$

were:

$R_{\%}$: is the dependent variable representing the percentage of emotion recognition of the group,

N_F: is the independent variable that can be experimentally adjusted and represents the intensity level of emotional expression, and

a and *b* : are the parameters that would best fit the function to the experimental data.

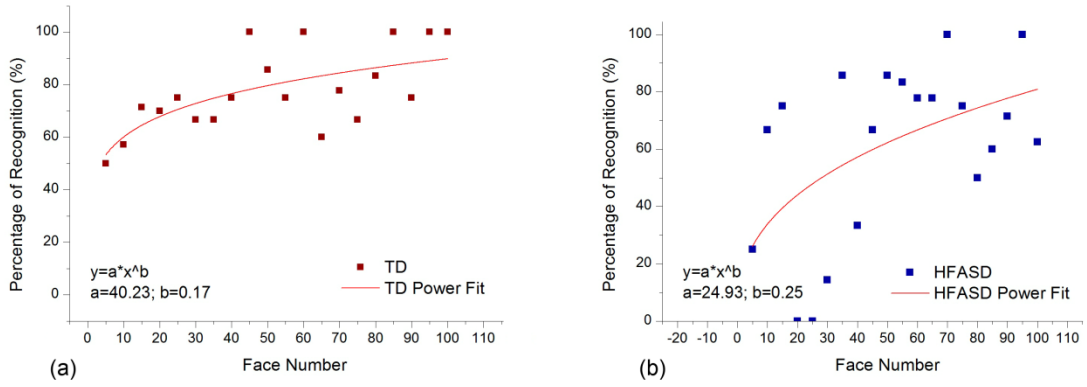


Figure 8. Percentage recognition at different intensity levels for Anger emotion in Test-2 with power fitting curve on experimental data for a) TD and b) HF-ASD groups.

It is worth to mention that the power curve was selected to fitting the data because of its natural tendency to accept only positive values for the independent variable, and the output dependent

variable can only report positive values depending on the fitting parameters *a* and *b*. In this study, these properties are important because the percentages of success recognition, as well as the intensity level of DFE sequence generation, are only positive values ranged between 0 and 100. Moreover, the fitting parameter *b* in the equation (2) determines the growing rate of the dependent variable (percentage of success recognition) as the function of the independent variable (intensity level of emotional expression) scaled by *a*. Numerical results of the fitting are presented in *Table 8*.

Table 8. Results from the power fitting applied to the Percentage of Success Recognition Results from the DFE evaluation performed on the TD and HF-ASD Groups

Emotions	TD Group			HF-ASD Group		
	a	b	N_F at $R_{\%}$=50 ♠	a	b	N_F at $R_{\%}$=50 ♠
ANGER	40.23 (8.10)	0.17 (0.05)	3	24.93 (12.21)	0.25 (0.12)	16
DISGUST	5.09 (2.87)	0.60 (0.13)	40	29.44 (14.65)	0.19 (0.13)	17
FEAR	1.14 (0.99)	0.90 (0.20)	70	1.17 (1.09)	0.89 (0.22)	70
JOY	62.78 (12.80)	0.10 (0.05)	1	41.06 (14.42)	0.15 (0.09)	4
SADNESS	31.43 (7.53)	0.20 (0.06)	7	38.60 (0.21)	12.07 (0.08)	1
SURPRISE	3.75 (2.56)	0.70 (0.16)	41	5.37 (3.49)	0.61 (0.15)	40

♠ Evaluation results using equation 3.

Furthermore, through a change of variable in equation 2, it is possible to approximate the intensity level inside the DFE sequence for each emotion at which the percentage of success recognition fills a predetermined criterion of 50% of hits by each participant group. The resulting expression for the evaluation of this criterion is

$$N_F = \left(\frac{R_{\%}}{a}\right)^{1/b}. \qquad (3)$$

Thus, the evaluation results of the equation 3 are also presented in *Table 8* for the TD and HF-ASD groups, respectively. These results determine the single values of the intensity level by the emotions at which an acceptable recognition begun. It is worth to note that acceptable intensity level emotion recognition between the groups was reached since the first levels, regarding Joy and Sadness emotions.

At a first glance, analyzing the results presented in *Table 8*, the Joy emotion seems to be recognized from the firs intensity level (i.e. face 1) for the TD group. It was followed by the Anger emotion which was identified from the level 3 (i.e. face 3). Similarly, the Sadness emotion had an acceptable recognition since the intensity level 7 (i.e. face 7). On the other hand, acceptable emotion recognition for Disgust and Surprise emotions began from the intensity level 40 (i.e. face 40). Finally, the Fear emotion was recognized from intensity level 70 (i.e. face 70).

In the same vain, the Sadness emotion seemed to be recognized by the participants of the HF-ASD group in an acceptable way since the first intensity level (i.e. face 1). It was followed by the Joy emotion which was recognized from the intensity level 4 (i.e. face 4). A similar recognition was showed by the Anger and Disgust emotions, which started to be recognized since the intensity level 16 (i.e. face 16). Moreover, the Surprise emotion was acceptably recognized from the

intensity level 40 (i.e. face 40). Finally, the Fear emotion was recognized only since the intensity level 70 (i.e. face 70). It is worth to note that both TD and HF-ASD groups presented similar results for Fear and Surprise emotions.

4. Conclusions

Gratifying results have been obtained through the VALE-Emotions App. This application was developed with the aim of stimulating and facilitating both teaching and evaluation activities of six basic emotions recognition with different intensity levels. It is worth to mention that the effectiveness of this App releases on the use of the emotions images sequences generated by the Dynamic Facial Expressions (DFE) parameters reported in this work. In fact, the effective evaluation of the recognition level of emotions from participants allowed for assessing two hypotheses proposed for this work. The first one assumed a high success emotions recognition of the HF-ASD participants, while the second one assumed that it is possible to determine the intensity level at which the 50% of participants successfully recognized emotions inside the DFE sequences. All the reported results confirmed the first hypothesis due to a high success recognition performed by the HF-ASD participants during the Test-1. In fact, from a general point of view, the average success of emotions recognition for the HF-ASD group was as higher as TD one. On the other hand, the second hypothesis was confirmed through the determination of the intensities levels at which an acceptable emotion recognition begun for each emotion. Furthermore, a final analysis of the response time of each participant for each group demonstrates that the HF-ASD participants were faster in the recognition of all the six basic emotions, when these are presented at the maximum intensity level, than their counterparts.

Acknowledgment

We render thanks to SENESCYT-Ecuador for the supporting during this study. Also, special thanks to all children that participated in this study. We also acknowledge the “Associazione Autismo KR” of Crotone (Italy) for their support and collaboration.

Bibliography

Bertacchini, F., Bilotta, E., Gabriele, L., Olmedo Vizueta, D. E., Pantano, P., Rosa, F., … Valenti, A. (2013). An emotional learning environment for subjects with Autism Spectrum Disorder. *2013 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, (September), 653–659. https://doi.org/10.1109/ICL.2013.6644675

Bilotta, E., Gabriele, L., Servidio, R., & Tavernise, A. (2010). Espressioni facciali in agenti virtuali: Il software Face3D e il riconoscimento di emozioni. In F. Perussia & G. Pravettoni (Eds.), *Giornale di Psicologia* (Vol. 4, pp. 139–148). Milano: PSICOTECNICA edizioni.

Chen, J., Chen, D., Wang, L., & Lemon, O. (2010). An advanced learning environment aided by recognition of multi-modal social signals. *Lecture Notes in Computer Science (Including*

Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), *6483 LNCS*, 41–51. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17407-0_5

Ekman, P. (1982). Methods for measuring facial action. In C. University (Ed.), *Handnook of Methods in Nonverbal Behavior Research* (pp. 45–135). New York.

Ekman, P. (1984). Expression and the Nature of Emotion·. In K. Scherer & P. Ekman (Eds.), *APPROACHES TO EMOTION* (pp. 321–343). NJ: Lawrence Erlbaum: Hillsdale.

Ekman, P. (1992). *An argument for basic emotions*. *Cognition & Emotion* (Vol. 6). U.S.A.: Lawrence Erlbaum Associates Limited. https://doi.org/10.1080/02699939208411068

Ekman, P. (1999a). Basic emotions. In *Handbook of Cognition and Emotion* (Vol. 98, pp. 45–60). https://doi.org/10.1002/0470013494.ch3

Ekman, P. (1999b). Facial Expressions. In *Handbook of Cognition and Emotion*. New York: John Wiley & Sons Ltd.

Ekman, P. (2003). Sixteen Enjoyable Emotions. *Emotion Researcher*.

Ekman, P., & Davidson, R. (1994). All Emotions Are Basic. In *THE NATURE OF EMOTION* (pp. 15–19). Oxford University.

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1976). Measuring Facial Movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, *11*(1(1)), 56–75.

Ekman, P., & Friesen, W. V. (1976). *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.

Fink, E., de Rosnay, M., Wierda, M., Koot, H. M., & Begeer, S. (2014). Brief Report: Accuracy and Response Time for the Recognition of Facial Emotions in a Large Sample of Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2363–2368. https://doi.org/10.1007/s10803-014-2084-z

Giacomo, T. Di, Joslin, C., Garchery, S., & Magnenat-Thalmann, N. (2003). Adaptation of facial and body animation for MPEG-based architectures. In *Proceedings. 2003 International Conference on Cyberworlds*. https://doi.org/10.1109/CYBER.2003.1253458

Grossman, J., Klin, A., Carter, A., & Volkmar, F. (2000). Verbal bias in recognition of facial emotions in children with Asperger syndrome. *J Child Psychol Psychiatry*, *41*(3), 369–379.

Harms, M. B., Martin, A., & Wallace, G. L. (2010). Facial Emotion Recognition in Autism Spectrum Disorders : A Review of Behavioral and Neuroimaging Studies, (20), 290–322. https://doi.org/10.1007/s11065-010-9138-6

Kanner, L. (1943). *Autistic disturbances of affective contact*. *Nervous Child* (Vol. 2). https://doi.org/10.1105/tpc.11.5.949

Kim, K., Rosenthal, M. Z., Gwaltney, M., Jarrold, W., Hatt, N., Mcintyre, N., … Mundy, P. (2014). A Virtual Joy-Stick Study of Emotional Responses and Social Motivation in Children with Autism Spectrum Disorder. *Science + Business Media*. https://doi.org/10.1007/s10803-014-2036-7

Moussa, M., & Kasap, Z. (2010). MPEG-4 FAP animation applied to humanoid robot head. *Proceeding of Summer …*, 1–11. Retrieved from

http://www.miralab.ch/repository/papers/574.pdf

Parsons, S., Mitchell, P., & Leonard, A. (2004). The use and understanding of virtual environments by adolescents with autistic spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *34*(4), 449–466. https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000037421.98517.8d

Porayska-Pomsta, K., Frauenberger, C., Pain, H., Rajendran, G., Smith, T., Menzies, R., … Lemon, O. (2012). Developing technology for autism: An interdisciplinary approach. *Personal and Ubiquitous Computing*, *16*(2), 117–127. https://doi.org/10.1007/s00779-011-0384-2

Saiano, M., Pellegrino, L., Casadio, M., Summa, S., Garbarino, E., Rossi, V., … Sanguineti, V. (2015). Natural interfaces and virtual environments for the acquisition of street crossing and path following skills in adults with Autism Spectrum Disorders: a feasibility study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *12*(1), 1–13. https://doi.org/10.1186/s12984-015-0010-z

Serret, S., Hun, S., Iakimova, G., Lozada, J., Anastassova, M., Santos, A., … Askenazy, F. (2014). Facing the challenge of teaching emotions to individuals with low- and high-functioning autism using a new Serious game : a pilot study, 1–17.

Stewart Bartlett, M., Hager, J. C., Ekman, P., & Sejnowski, T. J. (1999). Measuring facial expressions by computer image analysis. *Society for Psychophysiological Research*, *36*, 253–263.

Stichter, J. P., Laffey, J., Galyen, K., & Herzog, M. (2013). iSocial: Delivering the Social Competence Intervention for Adolescents (SCI-A) in a 3D Virtual Learning Environment for Youth with High Functioning Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, (44), 417–430. https://doi.org/10.1007/s10803-013-1881-0

Uljarevic, M., & Hamilton, A. (2013). Recognition of emotions in autism: A formal meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(7), 1517–1526. https://doi.org/10.1007/s10803-012-1695-5

Vesperini, S., Askenazy, F., Renaudo, N., Staccini, P., Hun, S., Legall, E., & Serret, S. (2015). Prosocial intervention in children and adolescents with autism spectrum disorder without intellectual disability: benefits of videotaping therapy sessions. *Encephale*, *41*(1), 47–55.

Enfoque UTE, V.7-Sup.1, Feb.2017, pp.374 - 383
http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/
e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363
Recibido (Received): 2017/01/09
Aceptado (Accepted): 2017/02/24
CC BY-NC-ND 3.0

Pizarra Virtual Compartida Websockets; una solución para trabajo remoto colaborativo

(Websockets Shared Virtual Whiteboard; an alternative for remote collaborative work)

Xavier Sotomayor[1], Diego Ordóñez Camacho[1]

Resumen:
La Pizarra Virtual Compartida Websockets, PVCW, es un sistema para trabajo compartido que habilita a sus usuarios a colaborar de manera remota, en línea y en tiempo real. El sistema proporciona una pizarra virtual que actúa como un espacio de trabajo en el cual las interacciones de cualquier participante se sincronizan automática e inmediatamente con los demás. En el lado servidor el sistema se implementa mediante la Java Enterprise Edition utilizando la tecnología WebSockets. En el lado cliente no es necesario efectuar ninguno tipo de instalación dado que cualquier browser de nueva generación que soporte WebSockets mediante Javascript, sea en dispositivos de escritorio o móviles, es capaz de integrarse a una sesión de trabajo. Esta configuración permite a los usuarios, dibujar a mano alzada, utilizar figuras geométricas de base y cuadros de texto; pueden guardar una pizarra, cargarla nuevamente en cualquier momento y editar su contenido; adicionalmente se habilita una herramienta de chat que brinda un espacio complementario para añadir explicaciones contextuales a la sesión, todo en un entorno colaborativo.

Palabras clave: pizarra virtual compartida; websockets; trabajo en línea.

Abstract:
The Websockets Shared Virtual Whiteboard, is a system for cooperative work, that allows its users to collaborate remotely, online and in real time. The system provides with a virtual whiteboard acting as a shared workspace where any user´s interactions synchronize automatically and immediately with all the other users. Server side, the system is implemented with the Java Enterprise Edition, mainly using WebSockets technology. Client side, no installing process is necessary, given that any recent browser supporting WebSockets through Javascript, whether on desktop or mobile systems, is able to integrate itself into a working session. The chosen configuration allows the users to hand-draw, and use geometric figures and text boxes; it is possible to save any stage of the working environment to file and reload it for a different session; moreover, a chat tool has been incorporated, which provides with a complementary workspace for adding contextual explanations to the session, everything in a collaborative environment.

Keywords: virtual whiteboard; websockets; shared whiteboard; online workspace.

[1] Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador ({sbxa87133, dordonez} @ute.edu.ec)

1. Introducción

La Pizarra Virtual Compartida Websockets, PVCW, es un sistema para trabajo colaborativo que habilita a sus usuarios a colaborar de manera remota, en línea y en tiempo real. El sistema proporciona una pizarra virtual que actúa como un espacio de trabajo en el cual las interacciones de cualquier participante se sincronizan automática e inmediatamente con los demás. En el lado servidor el sistema se implementa mediante la Java Enterprise Edition utilizando la tecnología WebSockets. En el lado cliente no es necesario efectuar ninguno tipo de instalación dado que cualquier browser de nueva generación que soporte WebSockets mediante Javascript, sea en dispositivos de escritorio o móviles, es capaz de integrarse a una sesión de trabajo. Esta configuración permite a los usuarios, dibujar a mano alzada, utilizar figuras geométricas de base y cuadros de texto; pueden guardar una pizarra, cargarla nuevamente en cualquier momento y editar su contenido; adicionalmente se habilita una herramienta de chat que brinda un espacio complementario para añadir explicaciones contextuales a la sesión, todo en un entorno colaborativo.

El trabajo colaborativo es imprescindible en múltiples disciplinas y escenarios, por ejemplo en diseño y desarrollo de software, especialmente cuando el problema no está correctamente definido, o cuando se debe identificar las necesidades del usuario o del cliente. La colaboración frente a la pizarra es un instrumento sumamente valioso para mantener el foco en el problema(Kleffmann, Hesenius, & Gruhn, 2015; Rooksby & Ikeya, 2012). Esta colaboración, sin embargo, no siempre es factible debido a la imposibilidad de juntar a los involucrados en el mismo espacio físico al mismo tiempo.

En la actualidad, ventajosamente, el desarrollo de las tecnologías de red amplía la gama de alternativas para poder generar sistemas y aplicaciones que aporten en los procesos colaborativos de comunicación y educación (Hou & Xia, 2009). De la misma manera, varios emprendimientos apuntan al desarrollo de metodologías para mejorar el trabajo colaborativo en grupo así como el diseño del aprendizaje, mediante el uso de herramientas computarizadas gráficas de alto nivel (Mota, Carvalho, & Reis, 2011).

La línea de acción que se perfila va de la mano con las nociones de construcción de equipos de trabajo, las cuales manifiestan que en un proyecto la visión compartida del objetivo es central, y que esta visión se soporta también en el aprovechamiento de la descripción gráfica y su mejora en un ambiente de aporte colaborativo y creativo (Dalsgaard, Halskov, Mackay, Maiden, & Martens, 2015; Russell & Creighton, 2011).

Más aún, no solamente equipos profesionales y de alto nivel se benefician de estos espacios de trabajo virtuales compartidos, sino que en la misma aula de clases el uso de estas tecnologías mejora los niveles de motivación al proporcionar, ente otras cosas, un medio actual y divertido que enriquece la experiencia de aprendizaje (Hamdan, Al-Qirim, & Asmar, 2012).

La influencia y relevancia de los dispositivos móviles dentro de los procesos de trabajo colaborativos y de enseñanza-aprendizaje también debe ser considerada cuidadosamente. Los dispositivos móviles abren la posibilidad de trabajo desde cualquier lugar, sin embargo esta misma circunstancia atenta contra el trabajo en grupo dificultando la posibilidad de coincidir en hora y lugar. Hay entonces que explotar las ventajas de la ubicuidad y tomarla en cuenta al diseñar y desarrollar sistemas para espacios de trabajo compartido (Jaramillo, Nguyen, & Newhook, 2014; Limtrairut, Marshall, & Andreae, 2016).

1.1 Trabajos relacionados

Varias herramientas existen que de una manera u otra intentan brindar una solución a la problemática general tratada en este artículo. Todas ellas con su enfoque particular y su especificidad.

En el campo de las pizarras interactivas educacionales tenemos Virtual Whiteboard (Lech, Kostek, & Czyzewski, 2012) e ImmerseBoard (Higuchi, Chen, Chou, Zhang, & Liu, 2015) que son herramientas sobre todo pensadas como reemplazo a las pizarras electrónicas usadas en el aula, con las cuales se puede interactuar completamente mediante gestos con las manos, gracias a las cámaras de captura de video que utilizan estos sistemas para detectar los gestos; esto sin embargo conlleva una configuración de hardware más especializada que limita su uso en espacios de trabajo más sencillos o estándar.

Los dispositivos móviles tienen su propia gama de aplicaciones que en general aprovechan bien el hardware, sobre todo la pantalla táctil, pero que asimismo suelen restringir la colaboración a dispositivos con igual sistema operativo, e incluso igual versión en ciertos casos. Un ejemplo es AegenBoard (Zhang & Yu, 2014) que además de la pizarra compartida incluye un sistema de voice over IP y permite grabar la sesión. Solo funciona en el iPad y la comunicación está limitada a dos personas. Para el sistema Android existe por ejemplo FlexiSketch (Wüest, Seyff, & Glinz, 2015) la cual está orientada sobre todo a la generación de diagramas, para lo cual presenta una amplia gama de opciones. Para Windows exclusivamente hay también alternativas como Easy Whiteboard (Brinkmann, 2015), bien provisto con opciones para dibujo aunque muy limitado para compartir y en alemán, y Shared Whiteboard (Akison, 2014) que explota las posibilidades de colaboración pero se enfoca en dibujo a mano alzada para pantallas táctiles.

Los sistemas que globalmente se muestran más flexibles son aquellos basados en tecnologías web, los cuales en general permiten colaborar en tiempo real entre varios usuarios y proporcionan opciones similares en lo relacionado al dibujo en la pizarra, como mano alzada con variedad de colores y grosores, y pequeñas notas de texto. Asimismo, la gran mayoría de las alternativas entregan funcionalidad limitada de manera gratuita, pero para un uso total es necesaria una suscripción pagada. Como ejemplos representativos tenemos A Web Whiteboard (Good Code,

2016) que aunque interactúa bien con dispositivos móviles, no posee trazado de figuras prediseñadas y no permite editar la información al compartirla. Muy similar, incluso en nombre, Web Whiteboard (Kniberg, 2016) permite desplazar las notas de texto creadas y guardar la pizarra, aunque esto solo como bitmap. Twiddla (Twiddla, 2016) si bien es pagado brinda la posibilidad de un acceso libre, pero totalmente público, lo cual impide un trabajo confidencial. Permite dibujar a mano alzada, a cada participante le brinda un color predeterminado. Scribblar (Scribblar, 2016) se presenta como bastante completo en cuanto a funcionalidad para trabajo colaborativo. Para su uso es imprescindible crear una cuenta, con un máximo de dos semanas de período de prueba gratuita; adicionalmente requiere flash, lo cual en dispositivos Android es un limitante por la falta de soporte oficial para este complemento.

A continuación el artículo se encuentra dividido de la siguiente manera: la sección 2 detalla los métodos, tecnologías y herramientas utilizadas; en la sección 3 se presentan los detalles del sistema resultante, considerando funcionalidad, diseño y pruebas; la sección 4 entabla una discusión que intenta comparar el sistema presentado con aquellos existentes destacando los puntos fuertes y débiles relevantes; finalmente la sección 5 destaca las conclusiones más importantes así como ciertas recomendaciones de trabajo a futuro.

2. Metodología

Los requisitos fundamentales para el sistema se obtuvieron mediante focus-groups y lluvia de ideas con usuarios tipo. Gracias al análisis de los trabajos relacionados, y hasta donde se pudo observar, se estableció que no existía una herramienta ya desarrollada que cumpla con la funcionalidad esperada, y se pudo afinar los requerimientos del sistema a construir tanto en lo funcional cuanto en lo relacionado a tecnologías y arquitectura.

Se decidió desarrollar un sistema basado en web que brinde independencia de arquitectura del lado cliente; se utilizó WebSockets (Fette & Melnikov, 2011) para simplificar el mantenimiento de la sesión y la conexión sobre HTTP, así como el envío de información en la forma de mensajes.

El front-end se desarrolló en HTML5, CSS y JavaScript para brindar la mejor compatibilidad con WebSockets (Wang, Salim, & Moskovits, 2012) y para evitar el uso de plugins.

Para el back-end se decidió trabajar con JEE y Glassfish utilizando la implementación Tyrus para WebSockets, combinación sólida para aplicaciones empresariales de alto rendimiento (Heffelfinger, 2014).

Ya en los específicos de la funcionalidad del sistema, se creó una interfaz gráfica genérica para cualquier browser compatible con WebSockets, y se creó un protocolo de aplicación propio de comunicación de mensajes estructurados en formato Json. Como se muestra en la *Figura 1*, las opciones más relevantes permiten el dibujar con el mouse, dedo o stylus si la pantalla es táctil,

pudiendo hacerlo a mano alzada, o seleccionando gráficos ya establecidos como las figuras geométricas; es posible seleccionar distintos colores y por último se implementó el almacenamiento del estado de las pizarras en archivos, del lado cliente, para su posterior recuperación y edición en una nueva sesión de trabajo.

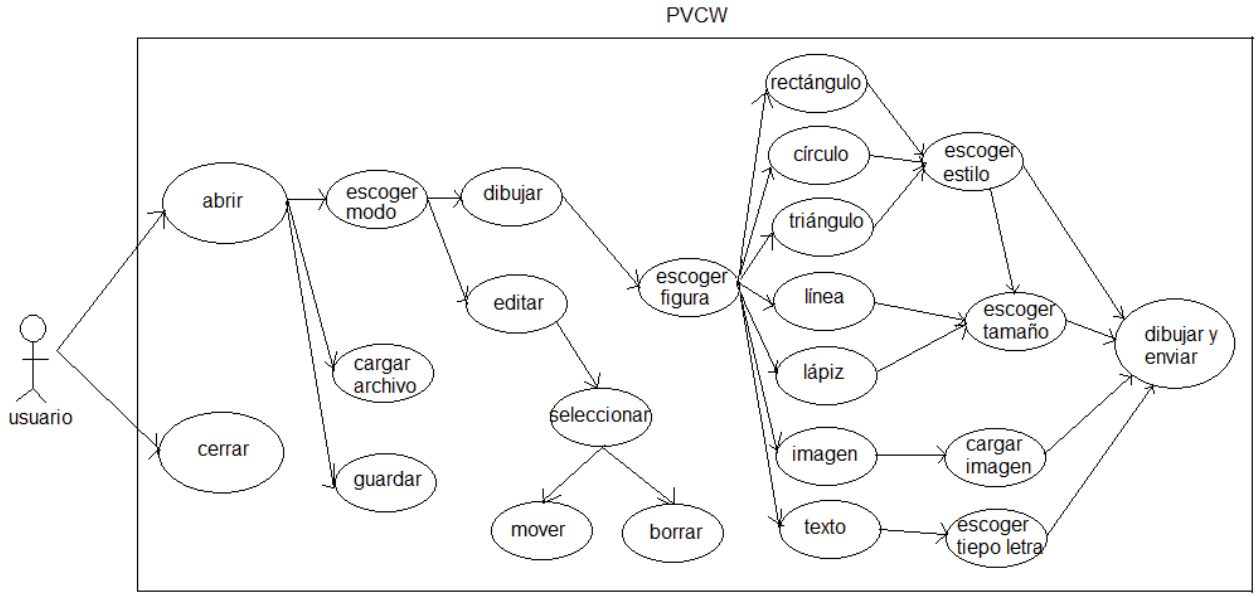


Figura 1. Diseño estructura interna PVCW

Se probó la funcionalidad de la aplicación en Google Chrome 52, Mozilla Firefox 43, Internet Explorer 11, Microsoft Edge 25 y Opera 39 con al menos dos usuarios conectados al mismo tiempo por cada uno; ejecutándose sets de pruebas tanto de caja blanca como de caja negra.

3. Resultados

El sistema se denominó Pizarra Virtual Compartida WebSockets, PVCW. La *Figura 2* presenta la interfaz gráfica de la aplicación con la implementación y uso de controles, donde, agrupado y marcado con letras en rojo, se tiene lo siguiente: A) tres controles para: abrir conexión, cerrar conexión y guardar como archivo el estado de la pizarra. B) figuras geométricas prediseñadas como: rectángulo, triángulo, línea recta, círculo, texto, lápiz y carga de imágenes. C) doce tamaños de dibujo definidos para el lápiz, línea recta, borrador y el borde de una figura geométrica sin relleno. D) doce tipos de letra definidos para el texto, los cuales son: Arial, Arial Black, Comic Sans, Courier, Cursive, Fantasy, Georgia, Helvética, Lucida Sans, Monospace, Times New Roman y Verdana. E) opción para dibujar un cuadrado, círculo o triángulo con relleno o sin relleno. F) campo de texto en donde se insertará el valor de la opción texto a dibujar. G) dos modos, dibujar y editar los cuales ayudan a identificar el momento en que se desea cambiar de posición o eliminar una figura geométrica o texto ya dibujados. H) doce colores definidos para todas las figuras geométricas a dibujar, texto y lápiz, estos son: verde, azul, rojo, amarillo, celeste, verde claro, tomate, negro, rosado, café, morado y gris. J) borrador, el cual solo puede borrar lo dibujado con el lápiz, las figuras y el texto se borran con la tecla “suprimir” en el modo “editar”. K) opción para

poder leer las instrucciones y usar de manera correcta la pizarra. Como parte del diseño de figuras geométricas, texto y lápiz se tiene lo siguiente: L) se pudo efectuar trazos de lápiz de diferente grosor y color. M) se pudo efectuar trazos de línea recta de diferente grosor y color. N) se pudo efectuar trazos de círculo con relleno, sin relleno, de diferente tamaño de borde y color. O) se pudo efectuar trazos de cuadrado con relleno, sin relleno, de diferente tamaño de borde y color. P) se pudo efectuar trazos de triangulo con relleno, sin relleno, de diferente tamaño de borde y color. Q) se pudo efectuar trazos de diferentes tipos de letra de texto a dibujar, color y tamaño. A excepción del lápiz, todas las figuras y el texto se pueden dibujar de diferentes tamaños y esto se lo hace con el mouse. Como parte de la edición de las figuras geométricas y el texto se obtuvo lo siguiente: R) Se puede ver el color con el que se dibuja la figura seleccionada, esto se lo hace al escoger el modo “editar”, una vez seleccionado se puede arrastrar con el mouse a una nueva posición. También se puede señalar el texto dibujado y cambiar el tipo de letra o el contenido escribiendo el nuevo contenido en el campo de texto mencionado en el punto F. Como parte del guardado y recuperado de la información se obtuvo lo siguiente: S) se implementó la carga de archivos de extensión “vwb” el cual permite cargar un estado de pizarra dibujado y guardado anteriormente.

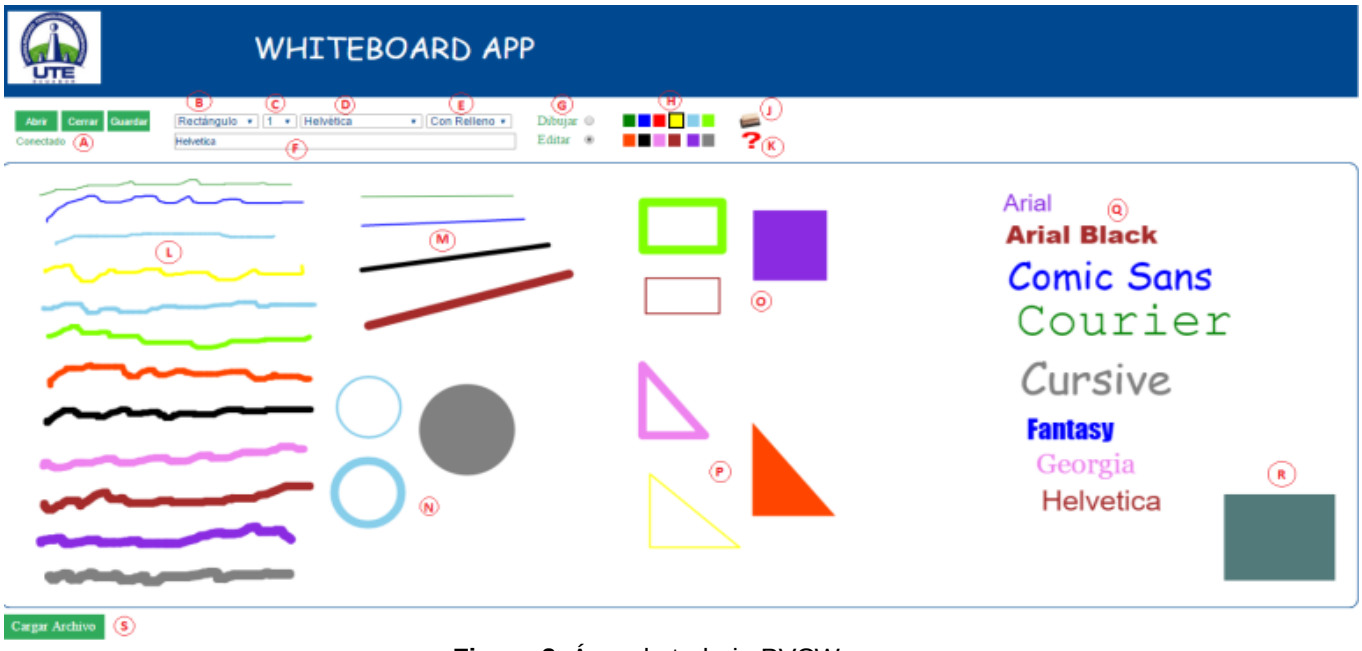


Figure 2. Área de trabajo PVCW

Como parte del intercambio de información se implementó la tecnología websockets y el tipo de formato Json como estructura del mensaje. La estructura del mensaje por cada trazo (*Figura 2*) es la siguiente:

{figura: nombre_figura, x1: coordenada inicial en x, x2: coordenada final en x, y1: coordenada inicial en y, y2: coordenada final en y, color: color_figura, tamaño: tamaño_figura, estilo: estilo_figura}.

Se probó la funcionalidad de la aplicación con un total de diez usuarios conectados al mismo tiempo en los diferentes navegadores mencionados en la sección anterior. La actualización de la información en las pizarras de todos los usuarios apareció correctamente y sin demoras que destacar, el borrado y cambio de posición de las figuras dibujadas también ocurrió y se percibió en las mismas condiciones. La carga de imágenes fue correcta pero con una leve demora para imágenes mayores de 200 KB, la descarga en archivo de la información de la pizarra y la carga de la misma también se realizó de manera correcta, en definitiva, cualquier acción que se ejecutó en la pizarra de un usuario, se reflejó correctamente y en tiempo real en la pizarra del resto de los usuarios conectados.

3. Discusión

PVCW, en primer lugar, cumple con las definiciones del proyecto; proporciona una amplia variedad de opciones de dibujo incluyendo figuras geométricas editables, con lo que no se cuenta en (Akison, 2014; Good Code, 2016; Kniberg, 2016); al ser basado en web no requiere ser instalado en el cliente como (Brinkmann, 2015), y no tiene las limitaciones de interacción relacionadas al uso de un sistema operativo específico que presentan (Brinkmann, 2015; Wüest et al., 2015; Zhang & Yu, 2014); es cierto que plataformas como (Higuchi et al., 2015; Lech et al., 2012) poseen cualidades multimedia e interactivas superiores, pero (Lech et al., 2012) requiere equipamiento específico como cámaras, y (Higuchi et al., 2015) no permite la colaboración de más de dos participantes; finalmente, la respuesta de PVCW en dispositivos móviles fue adecuada, especialmente si consideramos que no se presentan problemas que incluso sistemas de pago manifiestan a este nivel ya que (Twiddla, 2016) no reaccionó al cambio de orientación del dispositivo, y (Scribblar, 2016) no permitió dibujar en un dispositivo Android incluso usando un browser con soporte para flash.

4. Conclusiones y Recomendaciones

PVCW, a pesar de encontrarse en su primera versión, todavía a nivel de prototipo, proporciona funcionalidades muy competitivas, comparado con sistemas creados tanto para investigación como con fines comerciales. La interfaz gráfica es funcional en diversos sistemas operativos, browsers y dispositivos, sobre todo móviles; el conjunto de opciones para compartir información: dibujos, figuras y texto, cubre una amplia gama de necesidades de los usuarios; la sesión completa puede grabarse por cualquier cliente, localmente, y cargarse incluso fuera de línea conservando toda la distribución de componentes; el número de usuarios concurrentes está limitado más por los recursos del sistema (hardware y red) que por la aplicación; finalmente la

respuesta a los eventos generados por los usuarios es en tiempo real, con demoras no significativas, al menos en las pruebas realizadas.

Para las futuras versiones del sistema se propone incluir chats de texto con secciones gráficas bien definidas (actualmente puede hacerse ad-hoc en un campo de texto), así como estudiar las posibilidades de incluir audio y video, sea a través del mismo canal WebSockets, o mediante tecnologías alternativas como WebRTC(Vashishth, Sinha, & Babu, 2016). Finalmente se espera trabajar en seguridad, a nivel de cifrado, y en espacios de trabajo separados para grupos independientes.

Bibliografía

Akison, A. (2014, mayo 7). Look Back at Shared Whiteboard. Recuperado el 24 de agosto de 2016, a partir de http://www.akison.com/look-back-at-shared-whiteboard/

Brinkmann. (2015, mayo 27). Computer Whiteboard software Easy Whiteboard. Recuperado el 24 de agosto de 2016, a partir de http://www.ghacks.net/2009/01/18/computer-whiteboard/

Dalsgaard, P., Halskov, K., Mackay, W., Maiden, N., & Martens, J.-B. (2015). Supporting Creative Design Processes in Blended Interaction Spaces. En Proceedings of the 2015 ACM SIGCHI Conference on Creativity and Cognition (pp. 395–396). New York, NY, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2757226.2767184

Fette, I., & Melnikov, A. (2011). The WebSocket Protocol. IETF-RFC. Recuperado a partir de http://www.rfc-editor.org/info/rfc6455

Good Code. (2016). A web whiteboard. Recuperado el 24 de agosto de 2016, a partir de https://awwapp.com/info/

Hamdan, K., Al-Qirim, N., & Asmar, M. (2012). The effect of Smart Board on students behavior and motivation. En 2012 International Conference on Innovations in Information Technology (IIT) (pp. 162–166). https://doi.org/10.1109/INNOVATIONS.2012.6207723

Heffelfinger, D. (2014). Java EE 7 with GlassFish 4 Application Server. PACKT Books. Recuperado a partir de https://www.packtpub.com/application-development/java-ee-7-glassfish-4-application-server

Higuchi, K., Chen, Y., Chou, P. A., Zhang, Z., & Liu, Z. (2015). ImmerseBoard: Immersive Telepresence Experience Using a Digital Whiteboard. En Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 2383–2392). New York, NY, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2702123.2702160

Hou, D., & Xia, H. (2009). Analyzing and Designing of the Classroom Teaching System Based on the Network. En International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 2009. ESIAT 2009 (Vol. 2, pp. 614–617). https://doi.org/10.1109/ESIAT.2009.232

Jaramillo, D., Nguyen, V. D., & Newhook, R. (2014). Real-time experience techniques for collaborative tools on mobile. En IEEE SOUTHEASTCON 2014 (pp. 1–6). https://doi.org/10.1109/SECON.2014.6950669

Kleffmann, M., Hesenius, M., & Gruhn, V. (2015). Connecting UI and Business Processes in a Collaborative Sketching Environment. En Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems (pp. 200–205). New York, NY, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2774225.2775076

Kniberg, H. (2016). Web Whiteboard. Recuperado el 24 de agosto de 2016, a partir de https://www.webwhiteboard.com/

Lech, M., Kostek, B., & Czyzewski, A. (2012). Virtual Whiteboard: A gesture-controlled pen-free tool emulating school whiteboard. Intelligent Decision Technologies, 6(2), 161–169. https://doi.org/10.3233/IDT-2012-0132

Limtrairut, P., Marshall, S., & Andreae, P. (2016). Mobile Learning Application for Computer Science Students: A Transactional Distance Perspective. En Proceedings of the 2016 ACM Conference on International Computing Education Research (pp. 285–286). New York, NY, USA: ACM. https://doi.org/10.1145/2960310.2960350

Mota, D., Carvalho, C. V. de, & Reis, L. P. (2011). Fostering Collaborative Work between educators in higher education. En 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) (pp. 1286–1291). https://doi.org/10.1109/ICSMC.2011.6083837

Rooksby, J., & Ikeya, N. (2012). Collaboration in Formative Design: Working Together at a Whiteboard. IEEE Software, 29(1), 56–60. https://doi.org/10.1109/MS.2011.123

Russell, S., & Creighton, O. (2011). Artwork for requirements definition. En 2011 Fourth International Workshop on Multimedia and Enjoyable Requirements Engineering (MERE'11) (pp. 34–37). https://doi.org/10.1109/MERE.2011.6043941

Scribblar. (2016, agosto 22). Online Whiteboard and Collaboration. Recuperado el 22 de agosto de 2016, a partir de https://scribblar.com/

Twiddla. (2016, agosto 22). Team Collaboration for the Web. Recuperado el 22 de agosto de 2016, a partir de https://www.twiddla.com/

Vashishth, S., Sinha, Y., & Babu, K. H. (2016). Addressing Challenges in Browser Based P2P Content Sharing Framework Using WebRTC. En 2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA) (pp. 850–857). https://doi.org/10.1109/AINA.2016.143

Wang, V., Salim, F., & Moskovits, P. (2012). The Definitive Guide to HTML5 WebSocket. Apress.

Wüest, D., Seyff, N., & Glinz, M. (2015). FlexiSketch Team: Collaborative Sketching and Notation Creation on the Fly. En Proceedings of the 37th International Conference on Software Engineering - Volume 2 (pp. 685–688). Piscataway, NJ, USA: IEEE Press. Recuperado a partir de http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2819009.2819138

Zhang, F., & Yu, H. (2014). AegeanBoard: An Interactive Whiteboard Messenger for iPad. En 2014 2nd IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud) (pp. 257–258). https://doi.org/10.1109/MobileCloud.2014.42