



24, 25 y 26  
Noviembre | 2016

# INCISCOS 2016

## LIBRO DE ACTAS

---

- Métodos formales, lógica computacional y teoría de la computación
- Ingeniería de Software
- Arquitectura y Sistemas de Información Empresariales
- HCI - Interacción Persona Computador
- Cloud Computing
- Ciudades Inteligentes y El Internet de las Cosas
- Big Data y Aplicaciones Predictivas (BD).
- Sistemas Inteligentes y Robótica
- Informática educativa
- Computación Paralela y de Alto Rendimiento

# INCISCOS 2016

## Libro de Actas

International Conference on Information Systems and Computer Science

Quito – Ecuador

November 24 - 26, 2016

**Organiza:**

Universidad Tecnológica Equinoccial  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias

**Sitio web:**

[ingenieria.ute.edu.ec/inciscos](http://ingenieria.ute.edu.ec/inciscos)

**Editores:**

Sergio Luján Mora  
Oswaldo Moscoso  
Joel Paredes

**ISBN: 978-9978-389-32-4**

# Prólogo

Prologar las actas de la conferencia INCISCOS 2016 – International Conference on Information Systems and Computer Science, organizada por la carrera de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación de la Universidad Tecnológica Equinoccial, además de ser todo un privilegio es también una gran responsabilidad.

Organizar una conferencia científica internacional es un gran reto que requiere un enorme esfuerzo. Al embarcarse en la organización de INCISCOS 2016, el comité organizador de la Universidad Tecnológica Equinoccial se fijó un objetivo muy ambicioso que se alcanzó en su totalidad, lo cual no significa que fuese fácil de alcanzar, sino que se debe entender como una excelente demostración de la profesionalidad y el buen hacer de todos los miembros de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

El carácter internacional de la conferencia se logró en todas las dimensiones de la conferencia. En el comité científico colaboraron profesionales de Alemania, Argentina, Colombia, Ecuador, España, Estados Unidos, México, Perú y Rusia. Las charlas magistrales fueron impartidas por expertos de Alemania, Argentina, Colombia, Ecuador, España, Francia y Grecia. Los autores de los 42 artículos aceptados procedían de Argentina, Australia, Chile, Colombia, Ecuador, España, Italia y Venezuela. Todo ello contribuyó a que INCISCOS 2016 fuese un verdadero foro internacional de intercambio de experiencias sobre investigación en sistemas de información y ciencias de la computación.

Los 42 artículos que se recogen en estas actas resumen muchos meses o incluso años de investigación de sus autores. Sin duda alguna, todos estos trabajos ayudarán al avance del conocimiento humano, nuevas investigaciones se desarrollarán a partir de ellos.

En muchos sectores de la sociedad la investigación se considera un lujo; sin embargo, para muchos expertos, lo que realmente es un lujo es “no investigar”: un país no se puede permitir el lujo de no investigar, ya que esa decisión sólo le conducirá al subdesarrollo. Los autores de estos 42 artículos ejemplifican el interés que existe en sus países de procedencia por la investigación. De igual forma, la organización de INCISCOS 2016 por la Universidad Tecnológica Equinoccial demuestra el creciente interés que existe en Ecuador por unirse al conjunto de países que consideran que la investigación no es un lujo sino una necesidad de cualquier sociedad moderna y un deber de la comunidad universitaria.

Finalizo este prólogo invitando a los investigadores de todo el mundo a participar en INCISCOS 2017; seguro que será un gran evento científico que superará los grandes éxitos logrados con INCISCOS 2016.

Dr. Sergio Luján Mora  
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos  
Universidad de Alicante (España)

# Autoridades

- Ricardo Hidalgo Ottolenghi - Rector, Universidad Tecnológica Equinoccial
- Juan Eduardo Bravo - Decano Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial
- Carlota Moreno - Subdecana Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial
- Johanna Naranjo – Directora de Comunicación, Universidad Tecnológica Equinoccial

# Comité organizador

- Sergio Luján - Universidad de Alicante, España
- Oswaldo Moscoso - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Giancarlo Agostini - IAEN Instituto de Altos Estudios Nacionales
- Diego Ordóñez - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Joel Paredes - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Estevan Gómez - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Esteban Inga - Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
- Vladimir Bonilla - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Rodrigo Proaño - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Daniel Mideros - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

# Comité Científico INCISCOS 2016

- Steve Shih - Governor State University Chicago, USA
- Jens Lechtenbörger - Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Alemania
- Malumbo Chipofya - Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Alemania
- Litvin Anatoly Vitalyevich - Universidad Técnica Estatal del Don, Rusia
- Santiago Meliá Beigbeder - Universidad de Alicante, España
- Cristina Cachero Castro - Universidad de Alicante, España
- Marcela Genero - Universidad de Castilla-La Mancha, España
- Hugo Daniel Meyer - Barcelona Supercomputing Center, España
- Silvia Berenice Fajardo - Universidad de Colima, México
- Pedro Damián Reyes - Universidad de Colima, México
- Erika Ramos Michel - Universidad de Colima, México
- Ricardo Acosta Díaz - Universidad de Colima, México
- Alejandra Cechich - Universidad de Camahue, Argentina
- Yezid Donoso - Universidad de los Andes, Colombia
- Karina Rosas - Universidad Católica de Santamaría-Arequipa, Perú
- Andrés Cueva - Yachay EP, Ecuador
- Roberto Moya - Yachay EP, Ecuador
- Carlos Monsalve - Escuela Politécnica del Litoral, Ecuador

- Jonathan Carrillo - Universidad de las Américas, Ecuador
- Edison Mora - Pontificia Universidad Católica, Ecuador
- María Pérez - Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
- Rosa Navarrete - Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
- María Hallo - Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
- Juan Pablo Zaldumbide - Escuela Politécnica Nacional, Ecuador
- Alberto Belalcazar - Universidad Central, Ecuador
- Jairo Navarro - Universidad Central, Ecuador
- Vicente Merchán - Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador
- Ramón Pérez - Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
- Alexander Águila - Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
- Diego Carrión - Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
- Edwin García - Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
- Paúl Crespo Martínez - Universidad del Azuay, Ecuador
- Mariela Tapia - Universidad de Guayaquil, Ecuador
- Ciro Saguay - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Bolívar Jácome - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Hugo Gálvez - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Fanny Sandoval - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Nelson Herrera - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Wilson Guerrero - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Gabriel Pazmiño - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Héctor Ávalos - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Pablo Saá - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Fausto Freire - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Jaby Armas - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Jenny Jácome - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Guillermo Mosquera - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Aníbal Mantilla - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Javier Vivanco - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Freddy Álvarez - Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

# Prefacio

Este libro contiene los artículos aceptados para su presentación y discusión en la conferencia INCISCOS 2016 – International Conference on Information Systems and Computer Science organizada por la carrera de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación de la Universidad Tecnológica Equinoccial durante los días 24 al 26 de noviembre de 2016 en Quito, Ecuador.

INCISCOS 2016 es una multiconferencia para Ingeniería, Educación y Tecnología, dirigido a la comunidad nacional e internacional en el área de tecnología de información y ciencias afines.

El propósito de INCISCOS 2016 es reunir a investigadores y profesionales interesados en los avances de los Sistemas de Información y las Ciencias de la Computación.

El comité científico de INCISCOS 2016 está formado por profesionales expertos en Tecnologías de la Información y las Ciencias de la computación, quienes han tenido la responsabilidad de evaluar, en un proceso de revisión a ciegas los trabajos recibidos en cada una de las temáticas de la conferencia.

Los 42 artículos aceptados para su presentación y discusión tuvieron como mínimo dos revisores (peer reviewed) cada uno, garantizando la calidad y originalidad de investigación. Estos artículos son publicados en e-book con ISBN. Los autores de los mejores artículos seleccionados serán invitados para su publicación en la revista ENFOQUE UTE.

Finalmente, agradeciendo a las autoridades de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Ricardo Hidalgo Ottolenghi, Rector; Juan Bravo, Decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; Carlota Moreno, Subdecana de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; Johanna Naranjo, Directora de Comunicación; y a todos los que directa o indirectamente han colaborado con la conferencia (autores, comités, auspiciantes, etc) participando en la consolidación de INCISCOS 2016 – International Conference on Information Systems and Computer Science.

El comité organizador:

Sergio Luján - Universidad de Alicante

Oswaldo Moscoso - Universidad Tecnológica Equinoccial

Giancarlo Agostini - IAEN Instituto de Altos Estudios Nacionales

Diego Ordóñez - Universidad Tecnológica Equinoccial

Joel Paredes - Universidad Tecnológica Equinoccial

Estevan Gómez - Universidad Tecnológica Equinoccial

Esteban Inga - Universidad Politécnica Salesiana

Vladimir Bonilla - Universidad Tecnológica Equinoccial

Rodrigo Proaño - Universidad Tecnológica Equinoccial

Daniel Mideros - Universidad Tecnológica Equinoccial

# Contenidos

Charlas magistrales – Keynotes	8
Artículos de la conferencia	21
Sesión 1: Informática educativa	22
Sesión 2: Arquitectura y Sistemas de información empresariales	62
Sesión 3: Ciudades inteligentes, Cloud Computing y Big Data	95
Sesión 4: Ingeniería de Software	136
Sesión 5: Informática educativa	168
Sesión 6: Métodos formales, lógica computacional y teoría de la computación	200
Sesión 7: Interacción Persona Computador, Sistemas inteligentes y robótica	239
Sesión 8: Arquitectura y Sistemas de información empresariales	271
Sesión de Pósteres	298

# **Charlas Magistrales**

# (Big|Dark|Linked|Open|Web)+ Data

## La (r)evolución de los datos

Sergio Luján-Mora

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos

Universidad de Alicante

Alicante, España

[sergio.lujan@ua.es](mailto:sergio.lujan@ua.es)

**Abstract** — Hasta hace unos pocos años, el término *data* solía aparecer como adjetivo, como calificativo de otro término: *data center*, *data cleaning*, *data integration*, *data mining*, *data monetization*, *data replication*, *data tools* o *data warehouse*. Sin embargo, en los últimos años se han gestado nuevos términos en los que *data* ocupa la posición nominal: *Big Data*, *Dark Data*, *Linked Data*, *Open Data* y *Web Data*. ¿Es necesario tanto *data*?

Los datos han alcanzado un gran protagonismo en la sociedad actual; prueba de ello es que los datos han “invadido” los titulares de los medios de comunicación y la palabra *data* se ha convertido en el núcleo de muchos de los titulares, algunos con una visión de un presente o un futuro distópico que ya ha llegado: “Eres un dato y las empresas te quieren”, “Los datos que tú generas tienen cada vez más valor”, “Sabemos (antes que tú) qué harás el próximo verano gracias a tus datos”, “El ‘big data’ puede usarse contra ti”. ¿Qué hay de verdad en todos estos titulares alarmistas?

La informática, que recordemos es la rama de la tecnología que estudia el tratamiento automático de la información, y aunque información y datos no son lo mismo (los datos permiten la generación de información que a su vez permite la generación de conocimiento), es la encargada de procesar esos datos. A los informáticos se nos ofrecen nuevas y enormes oportunidades de estudio, de investigación e incluso de negocio, pero para ello debemos aprender a “navegar” en este mar de términos y de datos. El propósito de esta conferencia no es confirmar o desmentir los abusos y peligros que plantea el uso actual y futuro de los datos, aunque sí que se mostrarán algunos ejemplos inquietantes (por tanto, poco hay que desmentir). El propósito principal es aclarar los diferentes términos, explicar sus semejanzas y diferencias, las conexiones que existen entre ellos y las posibilidades de aplicación y de investigación que existen en la actualidad.

### BRIEF BIOGRAPHY

Sergio Luján-Mora es Profesor Titular de Universidad del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Alicante (España). Obtuvo su grado de Doctor Ingeniero en Informática en la Universidad de Alicante (España) en el año 2005 con una tesis sobre el modelado de almacenes de datos (*data warehouses*) con UML.

Sus temas principales de investigación incluyen el desarrollo de las aplicaciones web, la accesibilidad y la usabilidad web, la web semántica, el e-learning y los cursos de tipo MOOC (*Massive Open Online Courses*).

Ha sido profesor de las asignaturas “Compiladores”, “Tipos Abstractos de Datos”, “Programación y Estructuras de Datos”, “Programación en Internet”, “Programación Hipermédia 1” y “XML”.

Ha impartido diversos cursos sobre programación web, desarrollo de aplicaciones

web y accesibilidad y usabilidad web, tanto en España como en otros países como Argelia, Cuba, Ecuador, Kazajistán, Kirguistán, México, Moldavia, Perú, Polonia, Rusia y Ucrania.

Coordina los cursos de tipo MOOC iDESWEB (<http://idesweb.es/>), iXML (<http://ixml.es/>) y AWEB (<http://accesibilidadweb.es/>).

# Líneas de Productos de Software

## Desde el Dominio a los Productos

Agustina Buccella

Departamento de Ingeniería de Sistemas  
 Universidad Nacional del Comahue  
 Neuquén, Argentina  
 agustina.buccella@fi.uncoma.edu.ar

**Abstract** — El reuso orientado a dominios engloba un conjunto de metodologías y técnicas todas orientadas hacia la identificación, representación e implementación de requerimientos o servicios comunes dentro de un dominio en particular. Estos servicios comunes constituyen la base principal del reuso la cual es usada para la construcción de productos software que mejoran los tiempos de desarrollo, la puesta en el mercado y los costos maximizando al mismo tiempo la calidad resultante. En particular, la Ingeniería de Líneas de Productos de Software (ILPS) es un paradigma que utiliza el reuso de dominios como mecanismo para lograr una estructura común de servicios (llamada similitudes), en la cual se basan todos los productos a ser desarrollados. A su vez, agrega una estructura variable (llamada variabilidad) que permite brindar mayor flexibilidad logrando crear productos con bases similares pero adaptados a las necesidades específicas de los diferentes usuarios u organizaciones pertenecientes a esos dominios.

Todo desarrollo de Líneas de Producto de Software (LPS) posee dos fases bien definidas, la fase de dominio y la de la aplicación. Cada una de ellas engloba una serie de técnicas y metodologías, aún en desarrollo, que apuntan a cumplir con los objetivos generales de toda ILPS. Así, en la fase de dominio existen varios enfoques que proveen diferentes mecanismos para el análisis, modelado e implementación de la parte común y variable de la plataforma. Luego, en la fase de la aplicación, los enfoques se orientan a la configuración y personalización de la plataforma creada para generar productos en forma rápida y con calidad.

El propósito de esta charla es conocer los enfoques más consolidados dentro de las fases involucradas en todo desarrollo de LPS para obtener un panorama general de la madurez dentro de este campo. A su vez, analizaremos un desarrollo de LPS real dentro del dominio de ecología marina en el cual hemos aplicado y desarrollado nuevas técnicas que apuntan a mejorar varios aspectos del proceso.

### BRIEF BIOGRAPHY

Agustina Buccella es Doctora en Ciencias de la Computación (Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Pcia de Buenos Aires. Año 2009) y Magister en Ciencias de la Computación (Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Pcia de Buenos Aires. Año 2005).

Es Profesora Adjunta en el Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Informática, en donde se desempeña dictando cursos de grado en el área de las Bases de Datos y dirigiendo varias tesis de grado.

En cuanto a la investigación, es Investigadora Asistente del CONICET desde el año 2013 y dirige actualmente el Proyecto de Investigación “Reuso Orientado a Dominios”

dentro del Programa de Investigación 04/F001 “Desarrollo de Software Basado en Reuso” perteneciente a la Facultad de Informática. Dirige varios becarios y tesis de doctorado en el marco de dicho proyecto. Es integrante del grupo GIISCO (Software Engineering Research Group, <http://giisco.uncoma.edu.ar>) y participa como docente dictando cursos de posgrado en la Maestría en Informática de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Santa Cruz.

Sus principales líneas de investigación se basan en la Ingeniería de Líneas de Producto de Software, el Desarrollo de Software basado en Componentes y Sistemas de Información Geográficos.

Actualmente se desempeña como Secretaria de Investigación y Posgrado de la Facultad de Informática.

# Desarrollo de Software Basado en Reutilización

## Una perspectiva histórica

Alejandra Cechich

Departamento de Ingeniería de Sistemas  
Universidad Nacional del Comahue  
Neuquén, Argentina  
alejandra.cechich@fi.uncoma.edu.ar

**Abstract** — La ingeniería de software basada en reutilización es una estrategia de desarrollo que viene dada como respuesta a las demandas de un menor costo en la producción y mantenimiento del software, de una entrega más rápida de los sistemas y del incremento en la calidad del software. Cada vez más compañías ven su software como un activo valioso y están promocionando la reutilización para incrementar sus beneficios en las inversiones software. Por más de veinte años, Academia e Industria han participado en la elaboración, aplicación y difusión de diversas técnicas para la reutilización de software. ¿Debería entonces ser ésta una práctica consolidada?

La reutilización sistemática no se lleva a cabo sin más, sino que debe ser planificada e introducida ampliamente en una organización a través de un programa de reuso. Existen diversas técnicas para dar soporte al reuso, que exploran el hecho de que los sistemas del mismo dominio de aplicación son similares y tienen potencial para el reuso. Dada esa cantidad de técnicas – que incluyen desde componentes tradicionales a componentes off-the-shelf y servicios – la cuestión clave es ¿cuál es la técnica más adecuada a utilizar? Obviamente, eso depende de diversos factores; por ejemplo, los requerimientos del sistema a desarrollar, la tecnología y los activos reutilizables disponibles y a experiencia del grupo de desarrollo. Hoy día, la cantidad de software disponible es tal que, en la mayoría de las situaciones, existe la posibilidad de alguna reutilización. Sin embargo, también es posible que no se comprendan los riesgos asociados al reuso tan bien como se entienden los riesgos de un desarrollo tradicional.

El propósito de esta conferencia es analizar la evolución de los enfoques para reutilización de software a la luz de su grado de aplicación y difusión actuales. La idea central es discutir aspectos motivacionales y contextuales para la reutilización así como algunos factores de éxito para entender qué significa “reusar” realmente y qué perspectivas de investigación todavía se abren.

### BRIEF BIOGRAPHY

Alejandra Cechich es Profesora Titular en el Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Informática de la Universidad Nacional del Comahue (Argentina). Obtuvo su grado de Doctora en Informática con mención Europea en la Universidad de Castilla-La Mancha (España) y el grado de Magíster en Ciencias de la Computación en la Universidad Nacional del Sur (Argentina).

Es directora del Departamento de Ingeniería de Sistemas y directora del Grupo de Investigación en Ingeniería de Software del Comahue (GIISCO), donde lidera programas de investigación y de formación de investigadores (<http://faiweb.uncoma.edu.ar/grupo/gisco/mvc/>).

Sus temas principales de investigación incluyen el desarrollo basado en reutilización, en particular con líneas de productos software,

servicios y conocimiento; y el modelado conceptual de software.

Es co-editora del libro “Component-Based Software Quality: Methods and Techniques”, Springer (2003) y co-autora de diversas publicaciones relacionadas con la reutilización de software.

Ha sido profesora visitante del programa EMOOSE (Ecole des Mines de Nantes, Francia) impartiendo cursos en tópicos de arquitecturas software (2004-2009). Es actualmente profesora visitante en el programa de doctorado de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina).

Ha sido co-organizadora de la Escuela Latinoamericana en “Desarrollo de Software Basado en Componentes”, realizada en conjunto entre la Universidad Nacional del Comahue y UNU/IIST (United Nations University/International Institute for Software Technology) (2003).

# High Performance Computing Trends and Challenges

Claude Tadonki

Senior Researcher in High Performance Computing & Applied Mathematics  
 Mines ParisTech / CRI - Centre de Recherche en Informatique  
 Paris, France  
 tandonki@cri.ensmp.fr / claude.tandonki@mines-paristech.fr

**Abstract —** High Performance Computing (HPC) has been on the spotlight over the last decade, driven by users clamor for more powerful systems and more exciting applications. Significant technical changes have occurred indeed, and noteworthy improvements have been done at various levels and directions, thus pushing the limit of both standard computers and supercomputers. This phenomenon has even changed the rules of scientific discovery. Indeed, large-scale computations are now commonly considered in order to assess if a theory is consistent with experimental results, to question a large collection of data, or to understand a given (probably predicted) mechanism through high precision simulations. High Performance Computing aims at providing reasonably fast computing solutions to both scientific and real life technical problems. However, whatever the current and future breathtaking capabilities of supercomputers, they still work by brute force and deterministic steps orchestrated by programs, while human mind works by few strokes of brilliance. Thus, in order to take a significant advantage of hardware advances in the purpose of solving challenging problems, we need powerful methods together with highly skillful programming efforts and relevant frameworks. The purpose of this talk is to provide a panoramic overview of the HPC landscape, following the three axes of its basis: machines, methods, and programs. Beside classical combinatorial problems that will be used to illustrate (unachieved but still expected) computing dreams, two case studies will be more developed: Lattice Quantum ChromoDynamics (LQCD) and parallel computation of the covariance matrix. Synopsis of how to program supercomputers will be provided too.

## BRIEF BIOGRAPHY

Claude Tadonki (M) is a senior researcher and lecturer at the MINES ParisTech Institute (Paris/France) since 2011. He holds a PhD and a Habilitation degree in computer science from University of Rennes and from Paris-Sud University respectively. After six years of cutting-edge research in operational research and theoretical computer science at the University of Geneva, he relocated to France to work for EMBL, University of Paris-Sud, LAL-CNRS and then MINES ParisTech. His main research topics included High Performance Computing, Parallel Computing, Operational Research, Matrix Computation, Combinatorial Algorithm and Complexity, Mathematical Programming, Scientific and Technical Programming, Automatic Code Transformations. Claude Tadonki has worked at several laboratories and universities, has initiated various scientific projects and national/international collaborations, has given significant number of CS courses in different contexts including industries. He is an active member of well established scientific corporations and reviewer of high-impact international journals and top-rank conferences, and he has published numerous papers in

journals and conferences. Claude Tadonki has been very active in collaborations with South America countries. Indeed, he was the french coordinator of France/Brazil/Chile STIC-AmSud project BioCloud (2012-2014), and he has co-organized several HPC conferences, co-supervised joint France-Brazil PhDs, given several courses and seminars in Brazil, Peru, Colombia and Chile, to name a few for that specific context. He has participated and co-organized number of HPC conferences and meetings around the world.

# Aligning Sketch Maps to Geo-referenced Maps: Representations and Computation

Malumbo Chipofya Institute for  
Geoinformatics (IFGI) University  
of Münster  
Germany  
mchipofya@uni-muenster.de

*Abstract* — Sketch-to-metric map alignment is the task of finding correspondences between a hand drawn map and a given set of georeferenced spatial data (the metric map) such that spatial constraints are preserved over the correspondences. In this talk I will two challenges of this task: representation and computation. While both sketch maps and metric maps are represented in a 2-dimensional Cartesian coordinate system, there are no obvious transformations from one map to the other. This is a result of various distortions and omissions that are inherent to hand drawn sketch maps. We must, therefore, first establish appropriate methods for representing these data. In our work we use graph structures that capture the qualitative spatial constraints that must be in force in a particular spatial configuration. The computation task then becomes one of matching the graphs corresponding to the sketch map against those corresponding to the metric map. As a motivation for our work I will briefly discuss one application area for which sketch-to-metric map alignment may have a significant impact.

## BRIEF BIOGRAPHY

Malumbo Chipofya is Doctor of Natural Science (Dr. rer. Nat.), Geoinformatics, Westfälische Wilhelms Universität. He joined the IFGI in June 2010 to learn and conduct research towards a doctoral degree with specialisation within the area of Spatial Intelligence. My work is supervised by Prof. Dr. Angela Schwering, team lead of the Spatial Intelligence Lab (SIL) at IFGI.

His research is focussed on application Qualitative Spatial Knowledge Representation and Reasoning to spatial map alignment. Spatial map alignment is the discovery of correspondences between a pair of maps (e.g. the map of a neighborhood in a city and the map of whole city). The special aspect of his work is spatial information given purely in terms of qualitative relations. Map alignment can be used as a technique for visual query answering as well as other sorts of applications that require spatial localization at a scene level but without the use of spatial coordinates.

He has won several grants and awards such as the German Research Foundation (DFG) scholarship: International Research Training Group on Semantic Integration of Geospatial Information (IRTG/SIGI) at Institute for Geoinformatics at University of Münster,

University of Bremen, and State University of New York at Buffalo, the European Commission [Erasmus Mundus] Full Graduate Scholarship: Erasmus Mundus Master of Science in Geospatial Technologies, and many others.

# Desarrollo Dirigido por Modelos Basado en Componentes

Hacia otra forma de programar

Pablo Martín Vera

Universidad Nacional de La Matanza  
Universidad Abierta Interamericana  
Universidad Tecnológica Nacional  
pvera@unlam.edu.ar

*Abstract — En la construcción de un producto software están comprendidas diversas etapas, todas ellas contribuyen a la construcción de un producto de calidad que cumpla con las expectativas de los futuros usuarios finales. Dentro de estas etapas hay actividades que comúnmente no tienen trazabilidad entre sí. Los modelos construidos para analizar el futuro software son tomados por los programadores, pero no siempre guardan una relación estrecha con el software final construido. Pareciera que el gran esfuerzo de modelado es independiente al realizado en la programación. Los modelos quedan obsoletos y ni siquiera en la mayoría de los casos se pueden utilizar para documentar el software. Ya que los cambios hechos en la programación no han impactado en esos modelos. El desarrollo dirigido por modelos (MDD) es una metodología en la cual el objetivo principal es que la construcción de un sistema pueda realizarse a partir de modelos, siendo la actividad más importante el modelado, incluso por sobre la programación. Partiendo de modelos de alto nivel, muchos de ellos modelos gráficos, se pueden ir creando otros más específicos mediante lo que se conoce como transformaciones. Una transformación toma un modelo origen y genera uno o más modelos destino en forma automática o semi-automática. Estos modelos evolucionan hasta el punto de poder generar el código fuente de una aplicación o al menos parte del mismo.*

Pero... ¿es posible generar el código fuente de una aplicación solo con modelos abstractos sin programar? ¿Cuánto esfuerzo se requiere para alcanzar este objetivo? ¿Realmente es significativo invertir tanto esfuerzo en detallar un modelo o es mejor directamente escribir el código fuente? Si bien existen actualmente muchas técnicas y metodologías de MDD en su mayoría solo permiten generar parte del código fuente y si se quiere obtener un código más completo entonces el esfuerzo que debe ponerse en detallar los modelos es demasiado grande por lo tanto en la mayoría de los casos solo se utiliza para generar el código inicial y luego ante cualquier adaptación o modificación se modifica directamente el código fuente, haciendo que los modelos queden desactualizados.

En esta conferencia se aborda la temática desde un enfoque práctico presentándose una propuesta de utilización de MDD mediante componentes configurables. El correcto uso de esta técnica permitirá generar el código completo de distintas aplicaciones partiendo de modelos basados en UML (Lenguaje Unificado de Modelado). Si bien se logra tener una aplicación completa sin programar esta técnica no implica un fin a la programación a favor de la construcción de modelos, ya que la programación sigue estando presente pero con otro enfoque. Ahora el esfuerzo de programación no estará puesto en la construcción de una aplicación puntual sino en la programación de las transformaciones que requiere esta metodología, permitiendo generar el código fuente partiendo de los modelos. Al poner el esfuerzo de programación en estas transformaciones se permitirá contar con componentes ya probados que pueden ser reutilizados luego ya sin esfuerzo de programación o con mínimas adaptaciones según el objetivo del sistema a desarrollar. Ahora habrá que animarse a programar de otra manera, pensando en los modelos y en sus transformaciones.

## BRIEF BIOGRAPHY

Pablo Martín Vera es Doctor en ciencias informáticas, título que obtuvo en la Universidad Nacional La Plata en la República Argentina. Siendo su formación de base la ingeniería en informática (Universidad Nacional de La Matanza) trabajó muchos años en la industria de software tanto en las áreas de desarrollo como de gestión de proyectos. Actualmente se desempeña como profesor de grado y de posgrado en distintas universidades de la argentina (Universidad Nacional de La Matanza, Universidad Tecnológica Nacional y Universidad Abierta Interamericana). En dos de ellas además se desempeña como director de

proyectos de investigación formando estudiantes e iniciándolos a la investigación científica. Cuenta con una considerable trayectoria en investigación con más de 100 publicaciones en congresos, workshops y revistas. Es también revisor de revistas indexadas y de congresos internacionales. Así como también director de tesis de posgrado. Es una persona interesada en los constantes avances de la ciencia siendo sus principales áreas de experticia las tecnologías móviles, la usabilidad y el desarrollo dirigido por modelos. En los últimos años como complemento de su trabajo docente está también investigando en el área de gamificación aplicada al ámbito universitario.

# La usabilidad web y el diseño centrado en el usuario

Rocío Andrea Rodríguez

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas  
Universidad Nacional de La Matanza  
San JustoBuenos Aires, Argentina  
[rocio.rodriguez@unlam.edu.ar](mailto:rocio.rodriguez@unlam.edu.ar)

Departamento de Electrónica  
Facultad Regional Haedo  
Universidad Tecnológica Nacional  
Haedo, Buenos Aires, Argentina

Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática  
Universidad Abierta Interamericana  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina  
[rocioandrea.rodriguez@uai.edu.ar](mailto:rocioandrea.rodriguez@uai.edu.ar)

Resumen? El término **usabilidad** es aplicable a una infinidad de productos, en esta conferencia se aborda la usabilidad desde el punto de vista de un producto software. Suponga que hay dos productos con la misma finalidad y dirigidos a un mismo perfil de usuario, el producto A resulta confuso para el usuario y logra frustrarlo; en cambio al usar el producto B el usuario entiende claramente la forma en que se utiliza ¿Cuál de los dos cree que será el preferido por la mayor parte de los usuarios? El no utilizar un producto, implica haber malgastado tiempo, esfuerzo y dinero en su construcción. Si el objetivo del producto es conseguir las ventas de una empresa, entonces las pérdidas serán incommensurables. Es decir, en el ámbito de e-commerce la ausencia de usabilidad puede hacer que fracase una empresa. Sin embargo, no siempre es posible descartar un producto y usar otro ¿cuantas veces los usuarios se ven obligados a navegar por la web, frustrados al intentar realizar una gestión, en donde no hay otra alternativa para poder realizarla? Todos los sitios web de entidades públicas representan el único medio para poder realizar gran cantidad de gestiones.

No hay duda que la usabilidad es importante, pero ¿Qué tanta atención se pone en evaluar si un producto es verdaderamente usable para el público al que está dirigido?

6 L P X F K R V V L W L R V Z H E S U H V H Q W D Q G L I L F X O W D G H V S D U D O R V X V X D U L R n v s u s G H D O F R P S X W D G R U D V F R Q X Q D S D Q W D O O D T X H H V X @deMundoDosis y con RecaudimientD mendiR SploD G R ' debajo de la media ingresan a la misma web desde un dispositivo móvil con pantalla reducida? ¿Cuál es la experiencia del usuario al "H Q I U H Q W D U V H " D H V W H W L S R G H S U R G X F W R V R I W Z D U H "

# Ciberseguridad y el Reto con las Nuevas Tendencias Tecnológicas

Yezid Donoso

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación  
Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia  
ydonoso@uniandes.edu.co

*Abstract* — En esta conferencia se presentará algunas de las nuevas tecnologías emergentes en el ámbito de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones. Analizando de forma fundamental su funcionamiento y además los nuevos riesgos a los cuales estamos o estaremos pronto expuestos. Se analizarán tecnologías como realidad aumentada, convergencia de servicios, IoT, Softwarization, SDN, NFV, Cloudification, entre otras. Al final, se presentará un esquema de integración entre un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información y las Arquitecturas de Seguridad de la Información para integrar tanto los procesos de calidad de seguridad con los controles técnicos para dar solución a los esquemas de seguridad.

## BRIEF BIOGRAPHY

Profesor Asociado, Subdirector Académico y Coordinador Maestría en Seguridad de la Información en el departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Investigador Senior. Colciencia. Colombia. Senior Member IEEE. Past-Chair IEEE Colombia y Evaluador Experto de la Comisión Europea. Ph.D. (*Cum Laude*) en Tecnologías de la Información, Universidad de Girona, Girona, España. PostPhD en Tecnologías de la Información. Universidad de Girona. D.E.A. en Tecnologías de la Información. Universidad de Girona, Girona, España. Master (MSc) en Ingeniería de Sistemas Computación, Universidad de los Andes, Bogota, Colombia. Ingeniero de Sistemas, Universidad de Norte, Barranquilla, Colombia. Medalla al Mérito Tecnológico. Otorgado por la Policía Nacional – Oficina de Telemática. 2016. Senior Member IEEE (Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos) desde 2005. DVP (Distinguished Visitor Professor) para IEEE Computer Society. 2005 – 2009. Premio Nacional de Investigación de Operaciones dado por la Sociedad Colombiana de Investigación de Operaciones. 2004. Premio “Mejor Trabajo de Investigación” en el congreso IEEE ICN (Internacional Conference on Networking). 2004. Reconocimiento como “Profesor Distinguido”. Universidad del Norte. Octubre 2004. He recibido varios reconocimientos como professor invitado en universidades nacionales e internacionales. Libros: Network Design for

IP Convergence. DONOSO MEISEL, YEZID. 1 ed. Boca Raton. CRC Press, USA. 2009. Multi-Objective Optimization in Computer Networks using Metaheuristics. Y. Donoso, R. Fabregat. CRC Press. 2007. Donoso, Yezid, Fabregat, Ramon. Multi-Objective Optimization in Multicast Flows. Multi-Objective Optimization Scheme for Static and Dynamic Multicast Flows. VDM Verlag Dr. Muller. Germany. 2009. V.1. p.157. Javier Sierra, Yezid Donoso. Optimización de Redes de Transporte Ópticas WDM. 1 ed. Editorial UPB, Colombia. 2011. Tiene más de 140 artículos publicados en revistas internacionales indexadas, IEEE, ACM, IFIP y Conferencias Internacionales.

# MOOC/CaMel: Plataformas masivas

Giancarlo De Agostini S.

Fundación Virtual Iberoamericana (FUVIA)

Quito, Ecuador

gdeagostini@fuvia.org

**Abstract**—This document describes the difference between regular online systems and massive ones, the educational corporations that use them, its types, characteristics, and advantages.

**Keywords**—*system; online courses; taxonomy; MOOC; CaMeL*.

**Resumen**—Este documento describe la diferencia entre sistemas gestores de cursos en línea y los masivos, las corporaciones educativas que utilizan estos últimos, los diversos tipos existentes, características y ventajas.

**Palabras clave**—*plataforma; cursos en línea; taxonomía; MOOC, CaMeL*

## I. INTRODUCCIÓN

La gran pregunta ¿Qué es MOOC? ¿Es MOOC entonces una nueva herramienta para apoyar un nuevo paradigma educativo en un MUNDO: complejo, cambiante e hiperconectado?

Esta palabrita, algo rara, acuñada por David Cormier en el 2008<sup>1</sup>, viene del inglés por “Massive Open Online Courses” y para decirlo en nuestro idioma sería algo como *Cursos Accesibles Masivos en Línea* (CaMeL) abiertos o mejor dicho disponibles para todo público. Mañana puede tener otro nombre; esto no importa ya que seguirán vivos, al menos por varios años y continuarán su evolución. El primer curso “masivo” fue ofrecido por George Siemens y Stephen Downs, padres del conectivismo, en el año 2008 sobre “open teaching”.

Por supuesto que son plataformas o sistemas gestores de cursos en línea pero masivos; para 50 o 100 o 200 mil participantes y más, situación que para plataformas de e-Learning como *moodle*<sup>2</sup> esto sería casi imposible ya que a 10 mil llegan con esfuerzo, y por supuesto esto no es ni bueno ni malo, sino todo lo contrario, a justificarse por su función. La capacidad dependerá también de la característica de los servidores.

Por ahora los sistemas gestores de cursos en línea (e-Learning) se utilizan principalmente para la formación, mientras que los CaMeL o MOOC están más fuertemente orientados para la capacitación, al menos por ahora hasta que se les introduzcan a estos últimos un mayor número de elementos de aplicaciones del área de la inteligencia artificial (IA).

Adicionalmente a este hecho cuantitativo en las plataformas *mooc* normalmente se ofrecen cursos disponibles para todo público, sin costo o muy poco por servicios adicionales como pruebas supervisadas, actividades con seguimiento o documentos que venden dentro del módulo de estudio o cursos que se utilizan para créditos universitarios por nombrar algunos extras justificando el cobro.

Para atender a tal cantidad de alumnos tienen incorporados elementos de inteligencia artificial para ejecutar gran cantidad de actividades de forma automatizada y poder tomar decisiones con la producción de grandes cantidades de datos (*big data*) ocultos para, por ejemplo, evaluaciones de todo tipo las cuales utilizan varias aplicaciones de las tecnologías “IA”. Se han realizado experimentos dónde el profesor humano califica una evaluación dando un puntaje de 8,65 y la herramienta calificadora IA le calcula entre un 8,63 y 8,64; ¿cuál de las dos evaluaciones estará más cerca a la realidad? No obstante, en ambos casos la diferencia significativa es nula o insignificante. Vale la pena revisar el análisis de corrección automatizada de Shermis (2012)<sup>3</sup>.

Existen desde hace más de una década varias plataformas denominadas de e-Learning<sup>4</sup> y recientemente, unos dos a tres años aproximadamente, surgen<sup>5</sup> las llamadas masivas porque en el tiempo de Cormier llegaban a un par de millar apoyadas en moodle, para cursos disponibles a todo público, ofrecidos por las mejores universidades de los cinco continentes; algunas plataformas de este tipo son: Coursera y Udacity (estadounidenses), Iversity (europea), MiriadaX y Wedubox (iberoamericanas), edX y muchas más creadas también por los países denominados del grupo BIRC. No se pierdan de curiosear en serio los cursos de algunas de estas plataformas, al menos de la primera y la última y así saborear sus contenidos; también recomiendo, aunque no pertenezcan a estas plataformas, los cursos para genios del MIT Open Courseware<sup>6</sup> y así bajarse algunos.

Esta última, me refiero a edX, fue creada por un consorcio entre MIT y Harvard con código abierto recientemente liberado (revisen: mooc.org, edge.edx.org, edx.org, studio.edx.org)<sup>7</sup>.

## II. CARACTERÍSTICAS

Algunas de las características de edX, considerándolo un tipo de cMOOC (leer más abajo sobre la taxonomía MOOC), son:

- Plataforma muy sólida y completa, además de haber sido construida por Harvard y MIT.
- Una vez concluidos los cursos puede generar automáticamente certificados o diplomas basados en la identidad comprobada del cursante.
- Tiene una gran variedad de recursos como videos que pueden ser bajados o documentos para la lectura, ambos con preguntas y verificación de respuestas, foros para discusiones interactivas relacionadas a recursos multimediales.
- Además posee una gran variedad de preguntas interactivas con posibilidad de fechas límite y un número fijo de veces para responderlas. Los tipos de preguntas pueden ser de exploración, escogencia múltiple con posibilidad de interactuar con imágenes, relleno, arrastre, expresiones matemáticas, ecuaciones químicas, preguntas aleatorias, experimentos con simulación en equipos, tablas químicas interactivas y diagramas interactivos, construcción de moléculas y circuitos electrónicos, programación de código en lenguaje Python y Matlab, simulador de circuitos, entre otros.
- Permite tareas o ensayos para la evaluación, la autoevaluación, o la co-evaluación por el evaluador o por medio de rubricas ya hechas o por combinación de las dos.
- Permite generar foros de discusión, debates, preguntas frecuentes, ayuda.
- También facilita la comunicación con otras redes sociales y creación de comunidades de conocimiento fuera de línea.
- Los exámenes poseen realimentación con calificaciones.
- El diploma se genera automáticamente, siempre que el participante apruebe el curso. Este puede ser almacenado en el computador o impreso.

En realidad, hay que vivir la experiencia con algún curso MOOC (la mayoría son gratuitos) para darse cuenta de su potencial y de sus limitaciones.

## III. TAXONOMÍA

Según la taxonomía de Donald Clark existen como una decena de tipos MOOC o CAMEL, desde el punto de vista pedagógico o mejor desde el andragógico.

Por ejemplo, la c-MOOC o conectivista se basa en el trabajo en equipo donde se genera aprendizaje dentro de una comunidad social (crowdsourcing) que genera conocimiento o resuelve algún problema comunitario, más que el énfasis de contenido, mientras que en las de tipo x-MOOC su fortaleza es la de replicar conocimiento por medio de contenidos. Yo he realizado como una decena de ellos.

Antes de entrar en el de detalle sobre este tipo de plataformas masivas deseo, como sugerencia, enfatizar que es

aconsejable utilizar las de características del e-Learning para la formación y las masivas llamadas MOOC o CAMEL para la capacitación como lo mencioné al inicio, sin olvidarnos de nuestro tan citado amigo Benjamin Bloom<sup>5</sup> por su famosa taxonomía de procesos cognitivos para el aprendizaje en acción que siempre aplica a toda actividad de aprendizaje, incluso a la virtual pero muy real.

Según Bloom y otros autores *Sintetizar, Evaluar y Crear* son los procesos cognitivos más complejos del ser humano, mientras que el practicar algo y enseñarlo genera niveles de retención bastante altos como lo muestra la Fig. 1<sup>5</sup>.

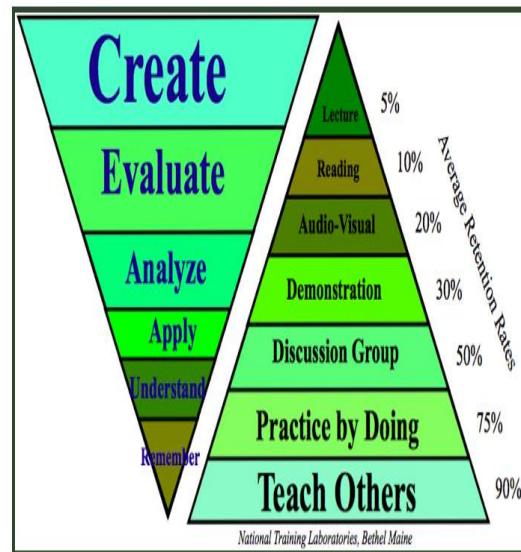


Figura 1 – Niveles en taxonomía de Bloom y de retención

Sobre este gráfico surgen preguntas como ¿dónde ubicaríamos el proceso de *enseñar* en dicha taxonomía; arriba de evaluar o debajo? y ¿dónde colocaríamos en la pirámide la acción de *crear* con su respectivo índice de retención que seguramente sobrepasa el 95%? Analicemos.

Tampoco olvidemos los dominios de desarrollo para el aprendizaje, como son el cognitivo, el afectivo y el psicomotor, los cuales no trataré en este documento, pero necesarios para el desarrollo de cualquier curso digital.

## IV. RESULTADOS MOOC

Como todo lo que brilla no es oro, entonces llega la gran pregunta: ¿Cuántos de los interesados en un curso tipo MOOC realmente lo concluyen? Analizando la siguiente Fig. 2 observamos que muy pocos.

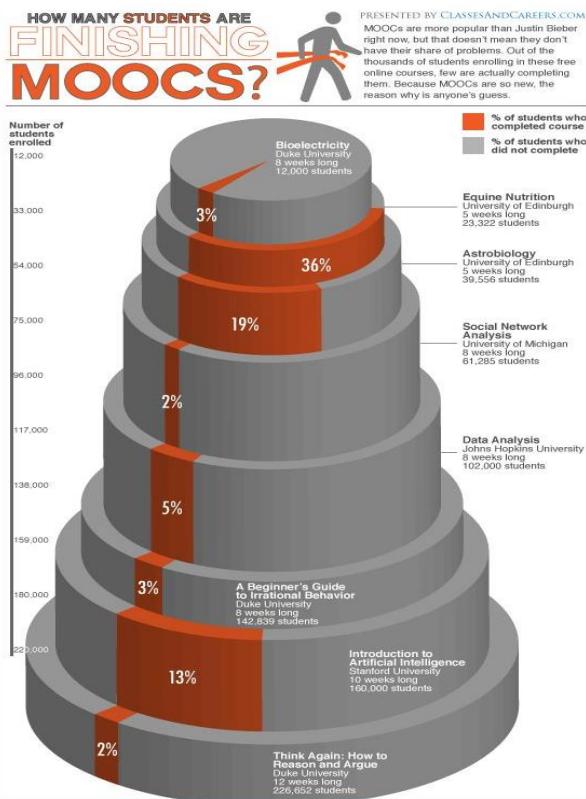


Figura 2 – Porcentaje de participantes que concluyen cursos MOOC

De la Fig. 2 anterior se desprende que no hay razones certeras hasta la fecha para la deserción de cursos MOOC; aparentemente no influye ni la cantidad de participantes que a veces sobrepasa los 200 mil, ni la duración que oscila entre cinco y doce semanas y todos los estudios son gratuitos. Los porcentajes de terminación de los cursos MOOC representados en la Fig. 2 varían entre un 36 y un 2 por ciento (%). A pesar que estos cursos los han ofrecido universidades de muchísimo prestigio con un gran impulso para apoyar estas plataformas MOOC, las cifras crean dudas en ciertas esferas educativas sobre el futuro de esta modalidad masiva porque el promedio de deserción es del orden de un 90%.

Pero observando los resultados con otra óptica, si de un curso de 200.000 participantes aprueban el módulo solo el 10% o sea 20.000 y una gran mayoría con distinción ( $> 90/100$ ) esto sí que es un gran logro para esta modalidad de estudio en línea masiva. Son veinte mil personas que con gran esfuerzo aprobaron exitosamente un curso con mucha dedicación, capacidad y disciplina, en comparación a unos treinta (30) participantes en línea (e-Learning) tradicional donde solo entre un 50 a un 70% concluyen el curso, aunque siempre hay excepciones<sup>8</sup>.

Pareciera más bien que el concluir un curso masivo depende del grado de motivación del participante en el tema de estudio y por supuesto de mucha disciplina. Será que la mayoría se registra por simple curiosidad, o porque son gratuitos, será de cobrarlos a partir de la 2<sup>a</sup> o 3<sup>a</sup> semana o pedir

que confirmen su inscripción para verificar si les interesa la temática. Pronto saldrán a la luz resultados de investigación sobre estas y otras incógnitas ya que no existen al presente y, las encuestas y estudios recién empiezan.

¿Cuáles pueden ser los aspectos mejorables para el diseño de cursos masivos del tipo CAMeL o MOOC?

Ante todo, brevemente, un excelente diseño instruccional sistémico centrado en el alumno y su aprendizaje dónde se consideren varios aspectos importantes como su perfil y necesidades, poseer un atractivo diseño multimedia, textos breves, motivadores y muy concisos, un adecuado número de actividades participativas además de colaborativas, evaluaciones acumulativas adecuadas y muy puntuales a lo largo de los diferentes temas, técnicas de aprendizaje muy precisas y justificadas para la implementación de cada actividad, utilización efectiva de las diversas herramientas de la plataforma, ofrecimiento de certificaciones por cadenas de módulos y créditos universitarios, entre otros muy importantes aspectos.

Otro detalle que deben resolver los cursos tipo CAMeL o MOOC ofrecidos por universidades y más aún por los consorcios como Iversity, MIRIADAx, edX, y COURSERA, entre otros, es el problema de la acreditación<sup>5</sup> ya que la gran mayoría de universidades no otorgan créditos por los cursos vía plataformas masivas. Algunas lo hacen para cursos de sus propias facultades en las áreas de Ciencias e Ingeniería, otros reducen los años de estudio del estudiante por el número de certificaciones que este obtenga, pero llegará el momento en que estos cursos se acrediten, en gran medida por los incrementos y altos costos de la educación universitaria presencial.

Algunos de estos sistemas, para generar Cursos Masivos en línea (CAMeL) o MOOC (del inglés: Massive Open Online Courses) los utiliza Coursera (USA) con más de un Millón de participantes registrados, con aproximadamente 500 cursos y 100 universidades de todos los continentes y en varios idiomas; UDACITY (USA) es otro de estos consorcios también con una variada gama de cursos que apoyan esta iniciativa; existen muchos otros proyectos de este tipo en China, India, Japón, Brasil y en Europa tenemos a Iversity desde Alemania y a MIRIADAx desde España para toda Iberoamérica.

El Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN) se decidió por adquirir el sistema edX, único en el Ecuador, creado por las universidades de Harvard y MIT, siendo hasta el momento de código abierto lo cual implica que lo ceden gratuitamente para que con expertos locales le podamos realizar los cambios necesarios al código de programación.

Algunas de las ventajas de la plataforma edX son:

- Gran variedad de recursos: lecturas, preguntas y verificación de respuestas, videos, discusiones interactivas.
- Los exámenes poseen realimentación con calificaciones.
- Permite trabajos para autoevaluación y co-evaluación por medio de "rubricas", o combinación de las dos.

- Permite generar foros de discusión, debates, preguntas frecuentes, ayuda, entre otras.
- Comunicación con otras redes sociales y creación de comunidades de conocimiento fuera de línea.
- Una vez concluidos los cursos puede generar automáticamente certificados o diplomas basados en la identidad comprobada del cursante. El diploma se genera, siempre que el participante apruebe el curso. Este puede ser almacenado en el computador o impreso.
- Posee elementos de inteligencia artificial para, por ejemplo, corregir inteligentemente ensayos.
- Variedad de preguntas interactivas con condicionales: fechas, numero de repeticiones, tipos de preguntas como: exploración, escogencia múltiple con posibilidad de imágenes con interactividad, relleno, arrastre, expresiones matemáticas, ecuaciones químicas, aleatorias, experimentos con simulación, equipos, tablas y diagramas interactivos, construcción de moléculas, programación de código en lenguaje Python y Matlab, simulador de circuitos, entre otros.

#### REFERENCIAS

- [1] "Massive open online course," in *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 2016. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mooc>. Accessed: Nov. 21, 2016.
- [2] Moodle, "Acerca de Moodle - MoodleDocs," in *Moodle*. [Online]. Available: [https://docs.moodle.org/all/es/Acerca\\_de\\_Moodle](https://docs.moodle.org/all/es/Acerca_de_Moodle). Accessed: Nov. 21, 2016.
- [3] M. Shermis, "Contrasting state-of-the-art in the machine scoring of short-form constructed responses," *Educational Assessment*, vol. 6, no. 1, pp. 1–20, 2015.
- [4] TeachThought Staff, "50 top sources of free eLearning courses," in *Our Most Popular*, TeachThought, 2015. [Online]. Available: <http://www.teachthought.com/learning/50-top-sources-of-free-elearning-courses/>. Accessed: Nov. 21, 2016.
- [5] D. Clark, "MOOCs: taxonomy of 8 types of MOOC," in DONALD CLARK PLAN B, 2014. [Online]. Available: <http://donaldclarkplanb.blogspot.co.uk/2013/04/moocs-taxonomy-of-8-types-of-mooc.html>. Accessed: Nov. 21, 2016.
- [6] M. Varner, "Infographic: How many students are completing free online courses?," in *Classes and Carrers*, 2013. [Online]. Available: <http://www.classesandcareers.com/education/2013/07/10/infographic-how-many-students-are-completing-free-online-courses/>. Accessed: Nov. 21, 2016.
- [7] T. Bates, "Sir John Daniel's book review of 'beyond the MOOC hype' by Jeffrey Young," 2014. [Online]. Available: <http://www.tonybates.ca/2014/01/17/sir-john-daniels-book-review-of-beyond-the-mooc-hype-by-jeffrey-young/>. Accessed: Nov. 21, 2016.

# **Artículos de la conferencia**

# Hacia un espacio de trabajo compartido en línea: pizarra virtual

## *Towards an online shared workspace: virtual whiteboard*

Xavier Sotomayor, Diego Ordóñez Camacho

Departamento de Informática y Ciencias de la Computación

Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias

Universidad Tecnológica Equinoccial

Quito, Ecuador

[sbxa87133@ute.edu.ec](mailto:sbxa87133@ute.edu.ec), [dordonez@ute.edu.ec](mailto:dordonez@ute.edu.ec)

**Resumen —** Este trabajo propone un sistema distribuido para trabajo compartido en línea, el cual permite a los usuarios colaborar en tiempo real, mediante un browser, utilizando una pizarra virtual. Los usuarios pueden 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, todo en un entorno colaborativo. El sistema utiliza WebSockets como el protocolo de transmisión de mensajes, y está optimizado para ser utilizado tanto en sistemas de escritorio como en dispositivos móviles.

**Palabras Clave -** pizarra virtual compartida; websockets; trabajo en línea.

**Abstract —** This work presents a distributed system for an online shared workspace, allowing users to collaborate in real-time, with a browser, using a virtual whiteboard. Collaborators can hand-draw, 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, having all the content editable in the collaborative whiteboard. The system uses WebSockets as the messages transmission protocol and it is optimized both for desktop and mobile devices.

**Keywords -** virtual whiteboard; websockets; shared whiteboard; online workspace.

### I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo propone un sistema distribuido para trabajo compartido en línea, el cual permite a los usuarios colaborar en tiempo real, mediante un browser, utilizando una pizarra virtual que les habilita a dibujar a mano alzada, utilizar figuras geométricas de base y cuadros de texto, brindando la posibilidad de guardar una pizarra, cargarla de nuevo en cualquier momento y editar su contenido, 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[1], [2]. 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 [3]. 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 [4].

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 [5], [6].

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, entre otras cosas, un medio actual y divertido que enriquece la experiencia de aprendizaje [7].

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 [8], [9].

A continuación el artículo se encuentra dividido de la siguiente manera: la sección II presenta los trabajos relacionados más relevantes al tema; la sección III detalla los

métodos, tecnologías y herramientas utilizadas; en la sección IV se presentan los detalles del sistema resultante, considerando funcionalidad, diseño y pruebas; la sección V entabla una discusión que intenta comparar el sistema presentado con aquellos existentes destacando los puntos fuertes y débiles relevantes; finalmente la sección VI destaca las conclusiones más importantes así como ciertas recomendaciones de trabajo a futuro.

## II. 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 [10] e ImmerseBoard [11] 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 [12] 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 [13] 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 [14], bien provisto con opciones para dibujo aunque muy limitado para compartir y en alemán, y Shared Whiteboard [15] 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 grosor, 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 [16] 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 [17] permite desplazar las notas de texto creadas y guardar la pizarra, aunque esto solo como bitmap. Twiddla [18] 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. Scribble [19] 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.

## III. 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 [20] 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 [21] 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 [22].

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

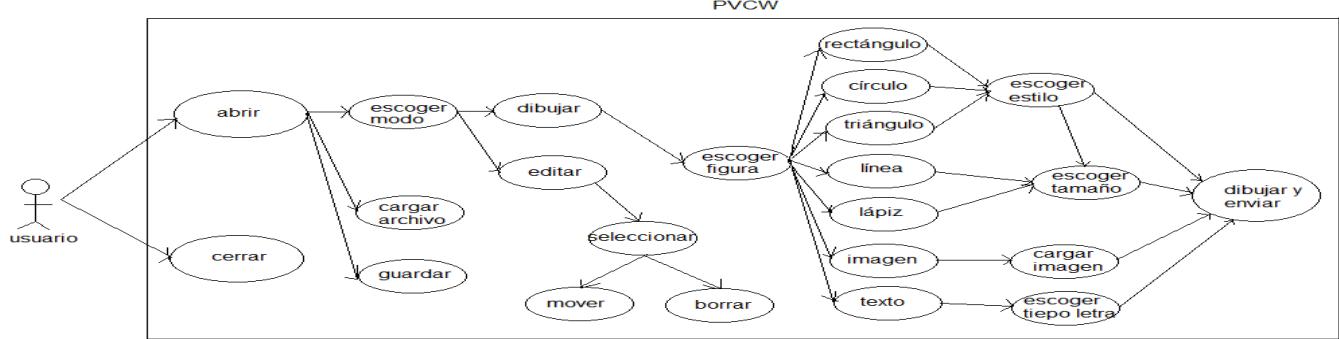


Figure 1. Diseño estructura interna PVCW

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.

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.

#### IV. 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 triángulo 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.

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) 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.

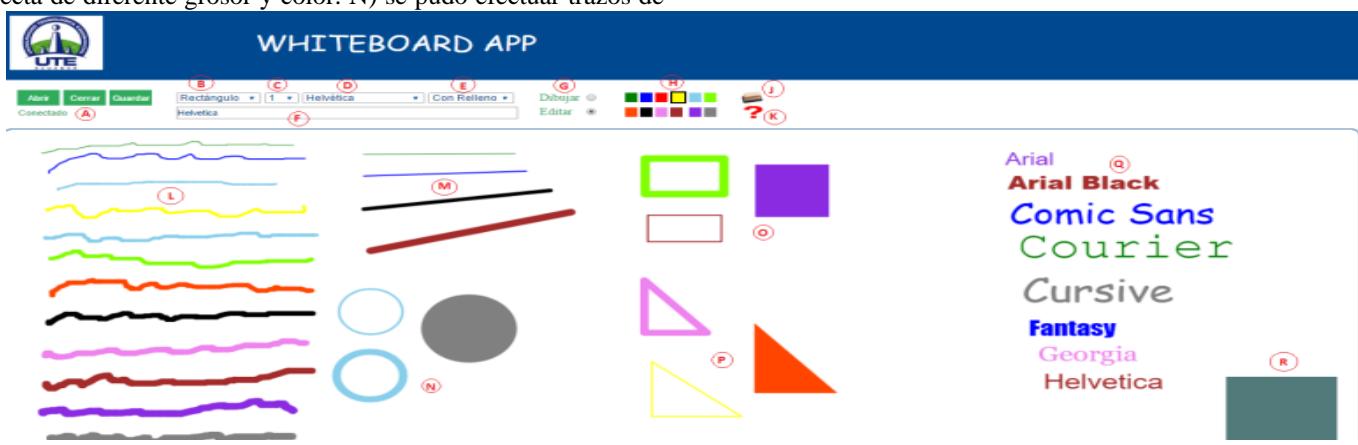


Figure 2. Área de trabajo PVCW

## V. 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 [15]–[17]; al ser basado en web no requiere ser instalado en el cliente como [14], y no tiene las limitaciones de interacción relacionadas al uso de un sistema operativo específico que presentan [12]–[14]; es cierto que plataformas como [10], [11] poseen cualidades multimedia e interactivas superiores, pero [10] requiere equipamiento específico como cámaras, y [11] 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 [18] no reaccionó al cambio de orientación del dispositivo, y [19] no permitió dibujar en un dispositivo Android incluso usando un browser con soporte para flash.

## VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

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[23]. Finalmente se espera trabajar en seguridad, a nivel de cifrado, y en espacios de trabajo separados para grupos independientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Rooksby y N. Ikeya, “Collaboration in Formative Design: Working Together at a Whiteboard”, *IEEE Softw.*, vol. 29, núm. 1, pp. 56–60, ene. 2012.
- [2] M. Kleffmann, M. Hesenius, y V. Gruhn, “Connecting UI and Business Processes in a Collaborative Sketching Environment”, en *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, New York, NY, USA, 2015, pp. 200–205.
- [3] D. Hou y H. Xia, “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*, 2009, vol. 2, pp. 614–617.
- [4] D. Mota, C. V. de Carvalho, y L. P. Reis, “Fostering Collaborative Work between educators in higher education”, en *2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2011, pp. 1286–1291.
- [5] S. Russell y O. Creighton, “Artwork for requirements definition”, en *2011 Fourth International Workshop on Multimedia and Enjoyable Requirements Engineering (MERE'11)*, 2011, pp. 34–37.
- [6] P. Dalsgaard, K. Halskov, W. Mackay, N. Maiden, y J.-B. Martens, “Supporting Creative Design Processes in Blended Interaction Spaces”, en *Proceedings of the 2015 ACM SIGCHI Conference on Creativity and Cognition*, New York, NY, USA, 2015, pp. 395–396.
- [7] K. Hamdan, N. Al-Qirim, y M. Asmar, “The effect of Smart Board on students behavior and motivation”, en *2012 International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, 2012, pp. 162–166.
- [8] D. Jaramillo, V. D. Nguyen, y R. Newhook, “Real-time experience techniques for collaborative tools on mobile”, en *IEEE SOUTHEASTCON 2014*, 2014, pp. 1–6.
- [9] P. Limtrairut, S. Marshall, y P. Andreae, “Mobile Learning Application for Computer Science Students: A Transactional Distance Perspective”, en *Proceedings of the 2016 ACM Conference on International Computing Education Research*, New York, NY, USA, 2016, pp. 285–286.
- [10] M. Lech, B. Kostek, y A. Czyzewski, “Virtual Whiteboard: A gesture-controlled pen-free tool emulating school whiteboard”, *Intell. Decis. Technol.*, vol. 6, núm. 2, pp. 161–169, feb. 2012.
- [11] K. Higuchi, Y. Chen, P. A. Chou, Z. Zhang, y Z. Liu, “ImmerseBoard: Immersive Telepresence Experience Using a Digital Whiteboard”, en *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2015, pp. 2383–2392.
- [12] F. Zhang y H. Yu, “AegeanBoard: An Interactive Whiteboard Messenger for iPad”, en *2014 2nd IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud)*, 2014, pp. 257–258.
- [13] D. Wüest, N. Seyff, y M. Glinz, “FlexiSketch Team: Collaborative Sketching and Notation Creation on the Fly”, en *Proceedings of the 37th International Conference on Software Engineering - Volume 2*, Piscataway, NJ, USA, 2015, pp. 685–688.
- [14] Brinkmann, “Computer Whiteboard software Easy Whiteboard”, *ghacks.net*, 27-may-2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.ghacks.net/2009/01/18/computer-whiteboard/>. [Consultado: 24-agosto-2016].
- [15] A. Akison, “Look Back at Shared Whiteboard”, 07-may-2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.akison.com/look-back-at-shared-whiteboard/>. [Consultado: 24-agosto-2016].
- [16] Good Code, “A web whiteboard”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://awwapp.com/info/>. [Consultado: 24-agosto-2016].
- [17] H. Kniberg, “Web Whiteboard”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.webwhiteboard.com/>. [Consultado: 24-agosto-2016].
- [18] Twiddla, “Team Collaboration for the Web”, 22-agosto-2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.twiddla.com/>. [Consultado: 22-agosto-2016].
- [19] Scriblar, “Online Whiteboard and Collaboration”, 22-agosto-2016. [En línea]. Disponible en: <https://scriblar.com/>. [Consultado: 22-agosto-2016].
- [20] I. Fette y A. Melnikov, “The WebSocket Protocol”, *IETF-RFC*, 2011.
- [21] V. Wang, F. Salim, y P. Moskovits, *The Definitive Guide to HTML5 WebSocket*. Apress, 2012.
- [22] D. Heffelfinger, *Java EE 7 with GlassFish 4 Application Server*. PACKT Books, 2014.
- [23] S. Vashishth, Y. Sinha, y K. H. Babu, “Addressing Challenges in Browser Based P2P Content Sharing Framework Using WebRTC”, en *2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 2016, pp. 850–857.

# Cursos MOOC: Primeras Expectativas y Niveles de Satisfacción en Profesores de Educación General Básica

## *MOOC Courses: First Expectations and Levels of Satisfaction in the General Basic Education Teachers*

Marco Yamba-Yugsi

Centro de Educación Continua

Instituto de Altos Estudios Nacionales (Ecuador)

Quito, Ecuador

myamba@cec-iaen.edu.ec

Sergio Luján-Mora

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos

Universidad de Alicante (España)

Alicante, España

sergio.lujan@ua.es

*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 (en inglés *massive open online courses*, MOOC). Como esta es una tecnología nueva en nuestro entorno y el índice de abandono es alto, es imprescindible su análisis para conocer las razones del alto índice de abandono y lograr un mejor aprovechamiento de los 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 alojan cursos MOOC y la satisfacción 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 y adaptar un curso a los usuarios, 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; profesores.

*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 make better use of the MOOC. 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, teachers.

### I. INTRODUCCIÓN

#### A. Qué son los MOOC

En 1988, Isaac Asimov, uno de los grandes maestros de la ciencia ficción, predijo con gran precisión los cursos masivos en una entrevista [1]: una vez que las computadoras se encuentren conectadas desde cada uno de nuestros hogares. Con la masificación del Internet y el acceso a él desde nuestros hogares, solo fue cuestión de tiempo para que las mencionadas predicciones se volvieran la realidad que son hoy en día, mediante los cursos masivos abiertos en línea (en inglés *massive open online courses*, MOOC. En el año 2012 el *New York Times* declaró ese año “como el año de los MOOC” [2] y un sinnúmero de empresas empezaron sus emprendimientos en desarrollo de plataformas MOOC, siendo las principales actualmente Udacity, Coursera y Open edX.

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 [3] [4]. El mismo año fue acuñado el término MOOC por Dave Cormier, haciendo alusión a los *Massively Multiplayer Online Game* (MMOG) [5].

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 [6].

Cada término del acrónimo MOOC puede ser negociable, como lo afirma el experto Sergio Luján [7]. Es decir, no se tiene que cumplir con el significado de cada una de las letras de MOOC.

### B. Importancia

A partir del éxito del curso de Inteligencia Artificial dado por la Universidad de Stanford, gran parte de las universidades se interesó por este tema [8]. 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 [9].

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 [10] [11].

En los MOOC se imparten temas que son de interés general, para una región, un país o un sector en específico [12], dependiendo de la plataforma a la cual se registre el usuario. Los MOOC ofrecen cursos o especializaciones que van desde informática hasta humanidades, es decir, hay para todos los gustos.

Las plataformas MOOC ofrecen a los estudiantes la oportunidad de capacitarse y obtener certificados internacionales [13], por haber aprobado el curso en estas. 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 sus conocimientos [14], de una forma bastante económica.

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" [15]. También Katy Jordan, en su web oficial, afirma que en 2015 aproximadamente sólo un 15% de quienes iniciaron un MOOC lo terminó [16].

### C. Contexto del Proyecto Mineduc

El 11 de noviembre de 2014 se firmó un convenio entre el Ministerio de Educación del Ecuador (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 la cual 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").

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) [17], para impartir cursos en línea, que fue construida bajo la tecnología de Open edX, que es de uso libre y código abierto [18].

Los participantes fueron escogidos por el Ministerio de Educación, de distintos lugares del país, tendrían que recibir el curso totalmente en línea y la evaluación final sería presencial. El porcentaje de la nota virtual 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) tuvieron un certificado equivalente a 330 horas y podrían aplicar para el ascenso en el escalafón del Magisterio nacional.

Para este artículo se han seleccionado 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 mini-videos, 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 [19], la incorrecta estructura del curso [20] y la falta de conocimientos técnicos [19] al iniciar el curso son los principales motivos del abandono de los MOOC. En base a los resultados de esos trabajos previos, 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 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, conocimientos informáticos 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.

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 de conocimientos tecnológicos que posean, contenidos y actividades interactivas.

El presente artículo aborda y explora varios temas que se debaten actualmente: Descripción de MOOC, la Importancia que esto conlleva, Contexto del Proyecto, Mapeo de Encuestas, Encuestas, Resultados y Discusión.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se plantearon objetivos de investigación, en base a estos se sacó las 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?

Estas han sido divididas en preguntas sencillas y claras en las dos encuestas 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 y Typeform.

### A. 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.

### B. 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 preguntas utilizadas para la ED fueron las siguientes:

1. Género.
2. Nacionalidad.
3. Nivel de estudios.
4. ¿Tiene experiencia previa en cursos masivos, abiertos y en línea?
5. ¿Cuántos ha finalizado?
6. Razones por las que realizará este curso (señala la opción preferente).
7. Si en la pregunta anterior respondió “otro”, indique la razón o motivación para realizar el curso.
8. ¿Qué expectativas caracterizan su participación en este curso?
  - Motivación.
  - Entusiasmo.

- Interés.
  - Desconcierto.
  - Miedo.
9. Indique otros rasgos que no aparezcan en la tabla, pero que refleje su estado de ánimo al comenzar el curso.
  10. ¿Conoce los programas básicos de ofimática como Microsoft Word, Microsoft Excel, LibreOffice Writer o similar?
  11. ¿Tiene acceso a Internet?
  12. ¿Conoce las redes sociales más utilizadas?
  13. ¿Tiene cuenta en algunas de las redes sociales?

Las preguntas utilizadas en la ES fueron las siguientes:

1. ¿Género?
2. ¿Los contenidos se relacionan con los objetivos declarados en cada unidad, enfatizan los aspectos significativos del tema y poseen adecuado nivel de detalle y profundidad?
3. ¿Los contenidos se encuentran contextualizados y enfocados a la Matemática de la Educación General Básica, generando interés por los temas presentados?
4. ¿Los recursos comunicativos como los correos masivos, servicio de *call center* y novedades del curso han sido suficientes para solventar sus dudas tanto técnicas como académicas?
5. ¿Los medios utilizados (videos, foros, lecturas, etc.) estimularon y motivaron su participación en el curso?
6. ¿La bibliografía de apoyo se encuentra actualizada y responde al contexto de la Matemática de Educación General Básica?
7. ¿La forma de organizar el curso es adecuada?
8. ¿La metodología del curso ha fomentado la colaboración?
9. ¿Los videos incluidos en el curso guardan estrecha relación con la motivación y los contenidos?
10. ¿El material incluido es pertinente con los contenidos desarrollados en el curso?
11. ¿Las actividades propuestas contribuyen a la comprensión de los temas y generan material útil, una vez terminado el curso?
12. ¿Los recursos aportados en la comunidad de aprendizaje contribuyen con puntos de vista diferentes a los incluidos en el curso?
13. ¿Las expectativas iniciales han sido alcanzadas?
14. ¿El foro le ha resultado una herramienta útil, por lo que ha seguido los hilos, aportando al debate?

15. ¿Compartir recursos e interactuar en la comunidad ha mejorado su aprendizaje?
16. ¿La carga de trabajo del curso le pareció adecuada?
17. ¿Los cuestionarios de evaluación le han permitido evaluar su progreso en el curso?
18. ¿Los cuestionarios de evaluación tienen un grado de dificultad adecuado?
19. ¿La relación entre esfuerzo invertido y objetivos alcanzados le ha parecido adecuada?
20. ¿Cómo calificaría el apoyo del monitor del curso?
21. ¿Ha tenido algún tipo de problema a la hora de presentar un trabajo o un quiz, por este medio?
22. ¿Cómo calificaría la navegación en la plataforma?
23. Déjenos su comentario y sugerencias para mejorar el servicio.

#### C. Mapeo de Encuestas

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

1. Medir el nivel de conocimientos tecnológicos de los participantes en el curso MOOC.
2. Conocer el estado de ánimo previo a participar en el curso MOOC.
3. Medir la organización colaboración y evaluación del curso.

#### **1. Medir el nivel de conocimientos tecnológicos de los participantes en el curso MOOC**

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

Para medir el nivel de conocimientos 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 tienen los participantes en cursos MOOC. En el segundo curso, “Matemática”, se quiso conocer la satisfacción en la interacción con las herramientas de la plataforma.

#### **2. Conocer el estado de ánimo previo a participar en el curso MOOC**

Tiene relación con las preguntas (7, 8, 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.

#### **3. Medir la organización colaboración y evaluación del curso**

Tiene relación con las preguntas (2, 5, 7, 8, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 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.

### III. 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 tiene en cursos MOOC normales.

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 4 (ED): ¿Tienes experiencia previa en cursos masivos, abiertos y en línea?**

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.

#### **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, correspondiente al 1,1%, dice ser por exigencia de la institución, como se puede observar a continuación en la Fig. 1, en la que se muestran los porcentajes de las razones declaradas para realizar el curso.

También un 4,9%, correspondiente a 18 personas, respondió “Otro”, de los cuales la mayoría coincide que es por aprender acerca de nuevas tecnologías y aplicar en su actividad laboral.

Fig. 1. Razones por las que realiza el curso

**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 Fig. 2, donde se muestra el porcentaje del estado de ánimo de los usuarios.

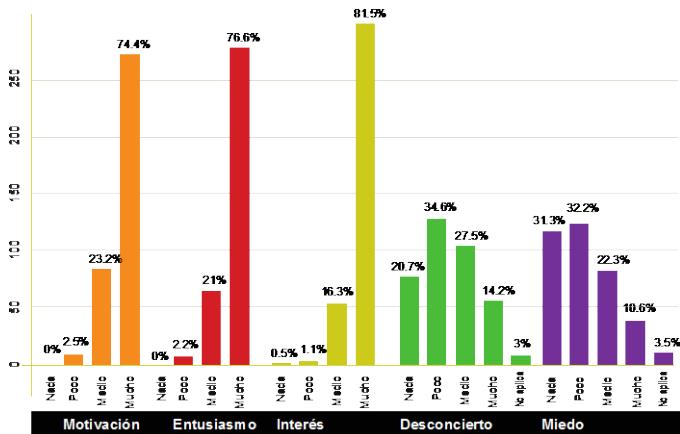


Fig. 2. Estado de ánimo previo al inicio del curso

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. Escala de satisfacción en Matemática. Que está relacionado, con el número de participantes que aprobaron el módulo de Matemática correspondientes al 62,1%.

TABLA I: ESCALA DE SATISFACCIÓN EN MATEMÁTICA

	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Pregunta 5 (ES): ¿Los medios utilizados (videos, foros, lecturas, etc.) estimularon y motivaron su participación en el curso?	51%	26%	14%	6%	3%

Pregunta 7 (ES): ¿La forma de organizar el curso es adecuada?	48%	27%	15%	6%	5%
Pregunta 8 (ES): ¿La metodología del curso ha fomentado la colaboración?	47%	29%	15%	5%	4%
Pregunta 16 (ES): ¿La carga de trabajo del curso le pareció adecuada?	40%	30%	16%	8%	6%
Pregunta 17 (ES): ¿Los cuestionarios de evaluación le han permitido evaluar su progreso en el curso?	56%	26%	12%	3%	3%
Pregunta 20 (ES): ¿Cómo calificaría el apoyo del monitor del curso?	40%	31%	16%	7%	6%
Pregunta 22 (ES): ¿Cómo calificaría la navegación en la plataforma?	55%	29%	10%	3%	2%

**Pregunta 18 (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 están de acuerdo con la dificultad dada a los cuestionarios.

**Pregunta 19 (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 21 (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.

#### IV. DISCUSIÓN

En el estudio realizado se encontraron algunos datos importantes, los cuales mencionamos a continuación.

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

De la información obtenida de la ED, se muestra que la mayoría ha realizado los MOOC, lo cual fue motivador para la planificación del siguiente curso, que fue “Matemática”, en el cual ya no solo se integraron cuestionarios, sino componentes avanzados de la plataforma: evaluación por pares, señalar sobre la imagen y libros electrónicos. Mediante revisión en el foro de soporte técnico, se pudo comprobar que no fue tan buena idea, ya que, hubo muchas quejas entre participantes. En especial con la evaluación por pares, que aunque se colocaron tutoriales y el manual, hubo participantes que no estaban preparados para ejercicios como estos, por lo tanto, no completaron el proceso.

Se procedió a quitar el porcentaje de calificación de la evaluación por pares y dejarlo como una actividad de aprendizaje. Por tal motivo se recomienda que no sea calificada; 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.

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, la externa que viene dada por el Ministerio de Educación con el certificado de 330 horas y la posibilidad de subir de categoría, y la interna que viene a ser la autorrealización. 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 se estaba ofreciendo.

El valor agregado o diferenciador hace que los usuarios se motiven y concluyan un curso con éxito, más el aval del Ministerio de Educación.

Para mejorar un siguiente MOOC, es necesario realizar alianzas estratégicas con otras instituciones, y buscar el beneficio adicional a los tradicionales, para el participante del curso.

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 participante.

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 como 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, ya que al principio no se sabe el nivel de

conocimientos con los que llega el usuario, pero con la ED y la participación en los foros es suficiente para darnos en cuenta.

La “Escala de Likert” es una herramienta útil para medir la satisfacción; de esta forma el participante tiene más opciones a las preguntas de “Sí” y “No”. Pudiendo graduar el nivel de satisfacción.

Es necesario un equipo de trabajo, 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 hay el presupuesto ideal, se puede optimizar mediante la utilización de herramientas y 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.

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.

## V. REFERENCIAS

- [1] A. Bartolom y K. Steffens, “Are MOOCs Promising Learning Environments?,” Comunicar, vol. 22, no. 44, pp. 91–99, 2015.
- [2] L. Pappano, “The Year of the MOOC”, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.nytimes.com/2012/11/04/education/edlife/massive-open-online-courses-are-multiplying-at-a-rapid-pace.html> [Consultado: 22-Jul-2016].
- [3] J. C. Lazo Galán y R. Contreras Espinosa, “El Diseño en Ecuador: Comunidad de aprendizaje en un entorno cMOOC,” LACLO 2013 - Octava Conferencia Latinoamericana de Objetos y Tecnologías de Aprendizaje, pp. 5, 2013.
- [4] S. Sánchez-Gordon y S. Luján-Mora, “Moocs Gone Wild,” Proceedings of the 8th International Technology, Education and Development Conference (INTED 2014), pp. 1449–1458, 2014.
- [5] J. C. Almenara, M. Del Carmen Llorente Cejudo y A. I. V. Martínez, “Las Tipologías de MOOC: Su Diseño e Implicaciones Educativas,” Profesorado, vol. 18, no. 1, pp. 13–26, 2014.
- [6] D. Gašević, V. Kovanović, S. Joksimović y G. Siemens, “Where is Research on Massive Open Online Courses Headed? A Data Analysis of the MOOC Research Initiative,” International Review of Research in Open and Distance Learning, vol. 15, no. 5, pp. 134–176, 2014.
- [7] S. Luján-Mora, “Los MOOCs un año después: ¿qué ha pasado?, ¿qué va a pasar?,” YouTube. Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=qqlk\\_Qw9O68](https://www.youtube.com/watch?v=qqlk_Qw9O68) [Consultado: 22-Jul-2016].
- [8] S. Luján-Mora y E. Saquete Boro, “Mixing a Mooc With Flip Teaching in a Traditional Classroom,” 5th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN 2013), pp. 80–87, 2013.
- [9] A. J. Haywood y H. Macleod, “To MOOC or not to MOOC? University decision - making and agile governance for educational innovation,” Massive Open Online Courses: The MOOC Revolution, pp. 1–14, 2014.
- [10] S. Sánchez-Gordon y S. Luján-Mora, “How Could MOOCs Become Accessible? The Case of edX and the Future of Inclusive Online

- Learning The Case of edX and the Future of Inclusive Online Learning,” Journal of Universal Computer Science, vol. 22, no. 1, pp. 55–81, 2016.
- [11] S. Sánchez-Gordon y S. Luján-Mora, “Barreras y Estrategias de Utilización de MOOCs en el Contexto de la Educación Superior en Iberoamérica,” en *La cultura de los MOOCs*, P. G. Hernández, A. G. Barrera, C. M. López, Ed. Síntesis, pp. 141–160, 2016.
- [12] V. Mailhes y J. Raspa, “MOOC: De la revolución educativa a la supervivencia,” Letra. Imagen. Sonido. Ciudad Mediatizada., no. 14, pp. 75–91, 2015.
- [13] O. B. Gené, M. M. Núñez y Á. F. Blanco, “Gamification in MOOC: Challenges, Opportunities and Proposals for Advancing MOOC Model,” Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality., pp. 215–220, 2014.
- [14] J. C. Lazo Galán y R. Contreras Espinosa, “Using MOOCs as a Research Approach and As Contributors to Local Knowledge,” 5th Annual International Workshop on Higher Education, 2015.
- [15] Kat Stein, “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., Vol. 5, 2013.
- [16] Katy Jordan, “MOOC Completion Rates: The Data,” 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.katyjordan.com/MOOCproject.html>. [Consultado: 22-Jul-2016].
- [17] S. Sánchez-Gordon, T. Calle-Jiménez y S. Luján-Mora, “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), pp. 11-13, 2015.
- [18] edX, “About Us”, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.edx.org/about-us> [Consultado: 04- Sep- 2016].
- [19] M. Capacities, “Deserción y Permanencia en Entornos MOOC,” MOOC-Maker, vol. 1, pp. 1–94, 2016.
- [20] L. Aleman y D. Garza, “Research Analysis on MOOC Course Dropout and Retention Rates,” no. 2, pp. 3–14, 2016.

# Ambientes Virtuales de Aprendizaje con Geogebra y Geometría Dinámica para Generar Cambios de Actitud Hacia las Matemáticas

## Virtual Environment of Learning with Geogebra and Dynamic Geometry for Generate Changes in Attitudes to the Mathematics

*Luz Libia Pinzón Ortiz*

Docente de secundaria y media.

Secretaría de Educación de Bogotá

Bogotá, Colombia.

[libiapinzon@gmail.com](mailto:libiapinzon@gmail.com)

*Roberto Alejandro Pinzón Ortiz*

Docente de secundaria y media.

Secretaría de Educación de Bogotá

Bogotá, Colombia.

[alejandropinzonortiz@gmail.com](mailto:alejandropinzonortiz@gmail.com)

**Resumen-** Para los estudiantes entender el comportamiento de un punto, una línea, un plano en dos y tres dimensiones, es una tarea ardua, debido a la modelización que deben hacer entre elementos de relación como lo son: el movimiento, la posición, la rotación y translación de cada uno de estos elementos en el espacio, siendo esto, uno de los problemas que se pueden generar en el estudio de conceptos geométricos y transversales a diferentes campos del conocimiento como el diseño, la arquitectura entre otros.

Para tal fin, el razonamiento espacial tomado como la capacidad de percibir el comportamiento en el espacio de los elementos que lo componen, como el punto, la línea y el plano, dentro del trabajo desarrollado en el mundo bidimensional y el mundo tridimensional, fundamentaran dicho proceso. A su vez, al integrar los elementos geométricos con teorías del diseño o la arquitectura, el joven podrá proponer modelizaciones a estos elementos, con el objeto de apropiarse de ellos para generalizar construcciones más complejas dentro de prácticas centradas en representaciones geométricas, gráficas bidimensionales y objetos de tres dimensiones a través de proyecciones desde el trabajo a mano alzada y soportado con herramientas informáticas como es el caso **Geogebra**.

**Abstract-** For the students the understanding of a point, line, and plane in two and three dimensions is a harder task, a cause of the cognitive modelling that they have to do among elements of relation, like the movement, the position, rotation and translation of each one of these elements in the space. This is one of the problems that create the study of the geometrical and transverse concepts, in different areas of the knowledge, like the designing and the architecture.

For this purpose, the spatial reasoning is taking like the ability of perceive the behave in the space of the elements that compose it, like the point, the line and the plane, inside the work developed in the two dimensional and three dimensional world, will be the base this process. At the same time, to integrate the geometrical elements with

architecture and designing theory, the young can propose modellings to these elements; with the purpose to appropriate them for generate constructions more complex inside the practice focus on geometrical representations, two dimensional graphics and object in three dimensions through projections since the work of freehand and leaded with informatics tool like the Geogebra.

**Palabras clave**—Ambientes Virtuales de Aprendizaje; actitudes; Geometría Dinámica; Razonamiento Espacial.

**Keywords**—Virtual Learning Environments; Attitudes; Dynamic Geometry; Space Reasoning.

### I. PLANTEAMIENTO

Teniendo en cuenta que para los estudiantes será difícil encontrar y desarrollar modelizaciones de elementos como lo son el punto, la línea y el plano, puesto que sus estructuras mentales aún se encuentran en desarrollo y las representaciones que se proponen para este trabajo, pasarán por un pensamiento abstracto el cual puede generar en el estudiante poca comprensión de los elementos y modelos que pueden ser para ellos visualmente confusos, se propone el diseño de applets/ ( gifs) , donde el joven pueda visualizar los cambios generados a partir de las construcciones de polígonos desde uno y dos puntos de fuga, así como de construcciones

más complejas desde objetos en tres dimensiones, de tal forma que se pueda generar un acercamiento desde la visualización a las construcciones planteadas y a su vez que ellos encuentren un verdadero significado al estudio de los puntos de fuga, planteado en otros contextos. La propuesta se respalda en la socioepistemología de la matemática, como afirma Cantoral (2007), este enfoque está diseñado para intervenir y adecuar el hecho educativo a la cotidianidad de la vida, donde la socioepistemología es para la intervención, porque permite transformar no como otros enfoques que son meramente contemplativos.

Como línea de investigación dentro de la matemática educativa, la socioepistemología surge en la década del 70 en México, desde los trabajos del Doctor Rodrigo Cantoral y la Doctora María Farfán, quienes buscaban un enfoque propio centrado en la educación integral, las necesidades de los estudiantes y las necesidades de la región Latinoamericana buscando así humanizar las matemáticas ya que los enfoques que se venían desarrollando pertenecían a otras latitudes, centraban su estudio en contenidos, en consecuencia dejando en un segundo plano al estudiante. Para entender la socioepistemología, se considera inicialmente la matemática educativa, que consiste en entender y explorar como los seres humanos construyen el conocimiento matemático.

Por consiguiente, la matemática educativa es una disciplina que pertenece al grupo de las ciencias sociales y dentro de la cual coexiste la socioepistemología con otras aproximaciones teóricas o prácticas sociales.

El objetivo de la matemática educativa es dar explicaciones acerca de cómo los seres humanos construyen el conocimiento matemático, es decir, ¿Cómo enseñar? y ¿Cómo se construye el conocimiento?, donde Cantoral (1997), lo caracteriza así:

**UNA DIDÁCTICA SIN ALUMNOS:** desde esta perspectiva se toma como criterio principal al profesional quien decide que se enseña, basados en los libros de texto, y materiales educativos.

**UNA DIDÁCTICA SIN ESCUELA:** "imagen del objeto" y "definición del concepto", planteados por Tall, Vinner (1981), refiriéndose a la imagen conceptual que tiene el estudiante, desde su experiencia y en su estructura total tomadas desde sus imágenes mentales o imaginería.

**DIDÁCTICA EN LA ESCUELA, PERO SIN ESCENARIOS:** sistema formado por el saber, que se aprende y se enseña en un medio determinado, también llamadas prácticas de referencia.

**UNA DIDÁCTICA EN ESCENARIOS SOCIOCULTURALES:** referida a la naturaleza epistemológica, dimensión sociocultural, planos de lo cognitivo y los modos de transmisión del conocimiento para la enseñanza y el aprendizaje.

Así mismo, la Socioepistemología matemática (socialis – espíteme), se entiende como una forma de humanizar la educación matemática que parte del aprendizaje significativo, orientándose a la formación holística e

integrando la teoría con la práctica, además de promover la continuidad entre los niveles educativos y los procesos socioculturales. En éste sentido, Cantoral (2007), afirma que su enfoque está diseñado para intervenir y adecuar el hecho educativo a la cotidianidad de la vida, donde la socioepistemología es para la intervención porque permite transformar, no como otros enfoques que son meramente contemplativos.

Cantoral define cuatro áreas o pilares que son:

**Dimensión sociocultural:** ve el fenómeno de aprendizaje no como lo que ocurre en la escuela, sino como lo que ocurre en la sociedad cuando produce conocimientos.

**Planos de lo cognitivo:** no ve el contenido matemático desde el punto de vista formal como un conocimiento riguroso y organizado, sino como un conocimiento que es creado fuera de la escuela, donde lo que pesa es la práctica y lo utilitario.

**Modos de transmisión vía la enseñanza:** la forma de enseñar, pero también la forma de investigar, involucra y ve el fenómeno de lo didáctico no como el proceso de transmisión de contenidos, sino que ve lo cognitivo como lo social, lo cultural y lo didáctico.

**Naturaleza epistemológica:** ve lo variacional. Recoge las ideas de la práctica social, como: ¿Dónde?, ¿Cómo es el lugar o escenario, ¿Dónde emergen las ideas?, siendo la variación un fenómeno social, tomando algunos ejemplos como: el cambio del clima, un carro en movimiento, etc.

Entonces, atendiendo los cuatro pilares planteados por Cantoral se afirma que la socioepistemología toma en cuenta la diversidad de componentes que conforman el proceso de aprendizaje los cuales trascienden la triada ALUMNOS- PROFESOR-CONTENIDO MATEMÁTICO, centrando la experiencia del joven en su entorno social, en donde la epistemología según, Torrellas & Romano (2009), se preocupará por todos los fenómenos endógenos y exógenos que influyen directa o indirectamente en todos los ámbitos de la educación desde lo matemático, la formación interdisciplinar y emocional del joven, afirmando también que es importante que los estudiantes puedan entender como sus experiencias se refuerzan, contradicen o suprimen como resultado de compartir vivencias en el aula. Entonces la socioepistemología es un aprendizaje basado en el diálogo, donde se aprende a través de la reconstrucción de sus propias realidades contextuales.

Cantoral (2001), afirma que el estudiante no aprende los conceptos de una manera aislada, si no se adapta a las situaciones en las que el conocimiento tiene significado y es construido mediante la acción sobre el sujeto. Considera que el saber matemático se construye socialmente en ámbitos no escolares, y su introducción en el ámbito de enseñanza lo obliga a modificaciones.

Siendo un interés particular el trabajo en torno al diseño e implementación de Ambientes Virtuales de Aprendizaje enfocados en razonamiento espacial, desde su evaluación como su construcción por parte de los estudiantes y como estos inciden en las actitudes hacia las matemáticas; respaldamos además, la viabilidad de continuar con dicha

propuesta aplicando Geogebra desde el diseño y construcción de gifs animados, donde se modelizan construcciones de uno, dos y tres puntos de fuga, generando planos transversales, longitudinales y sólidos en tres D. Para la creación de dichos ambientes virtuales, se comparte la postura de Mariotti (2001), que afirma que éste software hace que el estudio de configuraciones geométricas y la identificación de conjeturas significativas, resulte más accesible para los estudiantes.

Frente a la utilización de entornos de geometría dinámica, existen dos puntos de vista relativos a su manejo para promover el desarrollo del pensamiento geométrico de los estudiantes. El primero considera que las figuras dinámicas en especial las arrastrables, permiten que los estudiantes realicen en menos tiempo un número mayor de transformaciones sobre ellas, así como crear figuras más complejas, tal y como lo afirma Marrades & Gutiérrez (2000), el segundo considera que los dibujos arrastrables como objetos manipulables, visuales-mecánicos con limitaciones de movimiento, pueden ser conceptualizados y analizados geométricamente según Battista (2008).

Lo anterior permitiría si se quiere a futuro ampliar la propuesta inicial al campo cognitivo, para así analizar quizás la incidencia de estos Ambientes Virtuales de Aprendizaje en el rendimiento académico de los estudiantes, al considerarse que las figuras arrastrables pueden facilitar el entendimiento de las propiedades geométricas, pues en dichas figuras una propiedad espacial puede surgir como una invariante del movimiento, mientras que eso podría no ser perceptible en un dibujo estático como lo refiere Laborde (1998), cabe anotar que es importante saber, si los estudiantes distinguen las características básicas de la geometría, a partir de rasgos que son resultado del diseño particular de un entorno de geometría dinámica, y de qué forma lo hacen como afirma Jones (2000), por lo cual las actividades propuestas no se deben limitar solo al arrastre en las figuras.

## II. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La propuesta inicialmente está diseñada para los estudiantes de grado décimo, quienes están vinculados al programa de media fortalecida de las instituciones educativas distritales del sur de Bogotá; IED Antonio García e IED Ismael Perdomo, bajo los énfasis de diseño e introducción a las ingenierías respectivamente. Comprende como componente principal la apropiación y uso de la tecnología, en apoyo a la matemática bajo los pensamientos espacial y de sistemas geométricos, a fin de desarrollar en los estudiantes el uso de representaciones geométricas para resolver y formular problemas en las matemáticas y otras disciplinas como competencia matemática y como competencia tecnológica, tener en cuenta normas de mantenimiento y utilización de artefactos, productos, servicios, procesos y sistemas tecnológicos de su entorno para su uso eficiente y seguro, juntas en función de que el estudiante represente gráficas bidimensionales, objetos de tres dimensiones a través de proyecciones y diseños a mano alzada o con la ayuda de herramientas informáticas.

Con la propuesta se busca principalmente que el estudiante de grado décimo desarrolle habilidades y destrezas, que le permitan interpretar y crear imágenes, que representen diversos temas, desde los objetos geométricos y su uso en la cotidianidad; luego de representar y analizar los elementos conceptuales y prácticos del dibujo de perspectiva a uno, dos y tres puntos de fuga en objetos y espacios arquitectónicos, además de manejar la composición (perspectiva, volumen, tonos) con varios elementos.

Para la construcción del AVA se planteó un diseño educativo sobre el contenido que lo estructuraría, se elaboró un diseño computacional de la herramienta virtual, partiendo del modelo ADDIE y su estructura planteada desde el análisis, el diseño, el desarrollo, la implementación y la evaluación del recurso virtual.

Para tal fin, se retoman las teorías descriptivas y prescriptivas del diseño instruccional de Reigeluth (1999), tomando decisiones en el proceso de diseño del AVA, creando diferentes espacios para las temáticas propuestas y con las cuales el estudiante pudiera interactuar con el asertivamente. Desde las teorías anteriormente mencionadas, se desarrolló un Storyboard, el cual contenía todos los elementos que se pudiesen contemplar desde el objetivo propuesto para el AVA, la descripción de cada componente, así como de la imagen y del texto, buscando centrar la atención del estudiante en el momento de estudiar el AVA, permitiéndole acceder a la información y a las actividades con recursos visuales, auditivos y de texto. De la misma manera a lo largo de del desarrollo del AVA, se diseñaron las actividades desde EDUCAPLAY, foros, tareas, archivos adjuntos de los ejercicios prácticos realizados por los estudiantes y cuestionarios, además de los gifs de simulación de puntos de fuga construidos en Geogebra que pudieran fortalecer los contenidos allí abordados tales como:

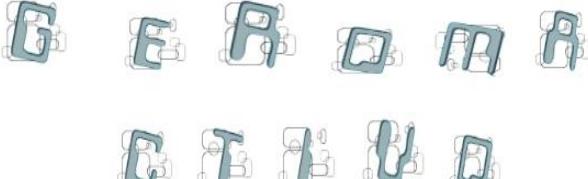
- QUE ES EL PUNTO DE FUGA
- QUE ES PERSPECTIVA
- PUNTO DE FUGA EN EL PLANO LONGITUDINAL
- PUNTO DE FUGA EN EL PLANO TRANSVERSAL
- PUNTO DE FUGA EN LA COTIDIANIDAD
- PUNTO DE FUGA PARA UN OBJETO
- PUNTO DE FUGA Y LA FOTOGRAFÍA
- DOS PUNTOS DE FUGA PARA UN OBJETO
- TRES PUNTOS DE FUGA PARA UN OBJETO

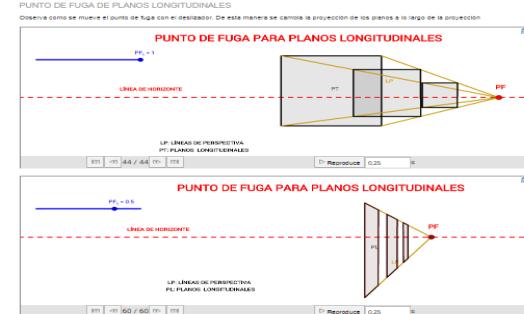
Para ejecutar en un tiempo aproximado de 4 semanas.

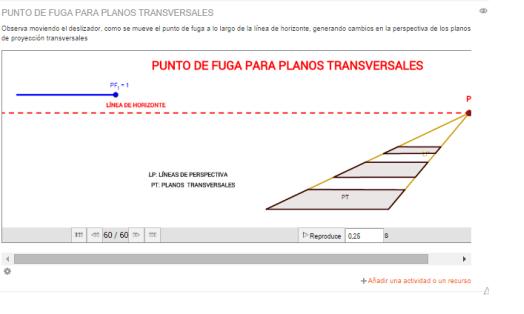
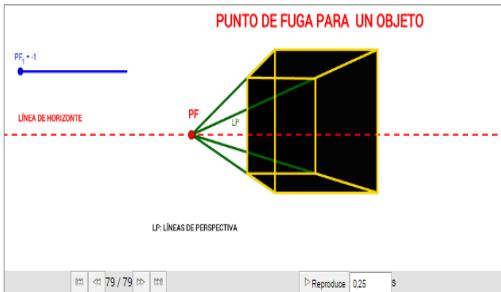
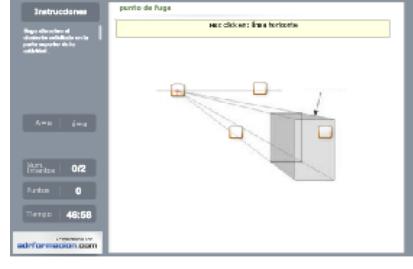
### III. PROPUESTA DE TRABAJO (STORYBOARD)

A continuación se presenta el diseño del AVA (*tabla 1*), desde el Storyboard:

TABLA 1. STORYBOARD

<b>PRESENTACIÓN DEL CONTENIDO DEL AVA</b> <b>Nombre del ambiente virtual dinamizado en letras gifs.</b>	
 	
<b>OBJETIVO Y COMPETENCIA</b> <p>Se presentara una animación en Goanimate la competencia a desarrollar y los objetivos del curso de manera más interactiva</p>  <p>Dicha animación aborda la competencia de una manera interactiva y centra la atención de los estudiantes al propósito de estudio. “</p>	

<b>GUIA NUMERO 1: PUNTO DE FUGA</b>	
<b>PUNTO DE FUGA</b> <b>CONTENIDO DE LA GUIA 1</b>	<p>Se desarrollará un prediagnóstico sobre los conceptos con los cuales el estudiante debe contar para abordar el curso.</p> <p><b>ANTONIO GARCÍA I.E.D.</b>  <small>*Construyendo procesos de transformación social a través de la ciencia y la tecnología- Resolución No.154 de Enero 24 de 2008 de Prescolar a Once. Carrera 17F No. 73 A -31 Sur</small></p> <p><b>CICLO: V GRADO: 10º MEDIA FORTALECIDA PERÍODO: SEGUNDO AÑO: 2014</b></p> <p><b>ASIGNATURA: DIBUJO Y PERSPECTIVA</b></p> <p></p> <p>Al abordar esta temática, podrás reforzar tus competencias referidas al uso de representaciones geométricas para resolver y formular problemas en las matemáticas y otras disciplinas y al desempeño tecnológico referido a la representación en gráficas bidimensionales y objetos de tres dimensiones a través de proyecciones y diseños a mano alzada o con la ayuda de herramientas informáticas (GeoGebra). <small>Requerir Windows. Es la configuración de IE, para activar Windows.</small></p> <p><b>PARA TENER EN CUENTA</b></p> <p>Enlace para la guía en Slideshare  <a href="http://www.slideshare.net/alejo1918/gua-1-puntos-de-fuga?ref=http://alejopinzon.gnomio.com/course/view.php?id=5&amp;notifyeditingon=1">http://www.slideshare.net/alejo1918/gua-1-puntos-de-fuga?ref=http://alejopinzon.gnomio.com/course/view.php?id=5&amp;notifyeditingon=1</a></p> <p>Presentará una actividad en EDUCAPLAY con el propósito de observar los aprendizajes de los estudiantes.  <a href="http://www.educaplay.com/es/recursoseducativos/1405441/definiciones.htm">http://www.educaplay.com/es/recursoseducativos/1405441/definiciones.htm</a></p> <p>Elaborada por LUZ PINZÓN</p>
<b>PUNTO DE FUGA</b> <b>PUNTO DE FUGA PARA PLANOS LONGITUDINALES</b>	<p><b>1. PUNTO DE FUGA PLANOS LONGITUDINALES</b></p> <p>Se presentará la temática con applets diseñados en GEOGEBRA</p> <p></p>

	<h2>2. PUNTO DE FUGA PLANOS TRANSVERSALES</h2> <p>Se presentará la temática con applets diseñados en GEOGEBRA</p> 	<h2>4. PUNTO DE FUGA PARA UN OBJETO</h2> <p>Se presentará la temática con applets diseñados en GEOGEBRA</p> 
PUNTO DE FUGA	<h2>3. EL PUNTO DE FUGA Y LA COTIDIANIDAD</h2> <p>Se presentará la temática con un vídeo tomado de youtube donde se observa en la cotidianidad el PUNTO DE FUGA  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=TluWj0pCDCI">https://www.youtube.com/watch?v=TluWj0pCDCI</a></p> <p>EL PUNTO DE FUGA EN LA COTIDIANIDAD</p>  <p>Se desarrolla un foro con la pregunta:      ¿Qué relación tiene el punto de fuga con la percepción de la profundidad del objeto?</p>	<p>PUNTO DE FUGA</p> <p>ACTIVIDAD</p> <p>Se plantean dos actividades.      Una actividad de EDUCAPLAY para identificar las partes correspondientes al punto de fuga para un objeto.</p> <p>La segunda será un trabajo desde el punto de fuga y la fotografía tomando del siguiente enlace dos registros y ubicando en ellas: <b>EL PUNTO DE FUGA, LA LÍNEA DE HORIZONTE Y LAS LÍNEAS DE PERSPECTIVA.</b></p> <p><a href="http://adventurgraphics.blogspot.com/2012/05/orprendentes-fotografias-de-punto-de.html">http://adventurgraphics.blogspot.com/2012/05/orprendentes-fotografias-de-punto-de.html</a></p> 

**5. DOS PUNTOS DE FUGA PARA UN OBJETO**

PUNTO DE FUGA

Se presentará la temática con applets diseñados en GEOGEBRA

DOS PUNTOS DE FUGA DE UN OBJETO

Observa moviendo el deslizador, como se mueven los dos puntos de fuga a lo largo de la línea de horizonte, generando cambios en el objeto.

**PF: PUNTO DE FUGA**

PF<sub>2</sub> = 1  
PF<sub>1</sub> = 1  
LÍNEA DE HORIZONTE  
PF<sub>1</sub>  
LP: LÍNEAS DE PERSPECTIVA  
PL: PLANOS LONGITUDINALES

Reproduce 0.25 S

**6. TRES PUNTOS DE FUGA PARA UN OBJETO**

PUNTO DE FUGA

RES PUNTOS DE FUGA PARA UN OBJETO

Se presentará la temática con applets diseñados en GEOGEBRA

TRES PUNTOS DE FUGA DE UN OBJETO

Observa moviendo los deslizadores, como se mueven los puntos de fuga a lo largo de las líneas de horizonte, generando cambios en el objeto. De esta manera se proyecta un objeto en el espacio con TRES PUNTOS DE FUGA.

PF<sub>2</sub> = 0.2  
PF<sub>1</sub> = 0.2  
PF<sub>3</sub>  
PF<sub>1</sub>  
PF<sub>2</sub>  
PF<sub>3</sub>

Reproduce 0.25 S

#### IV. ESPECTATIVAS

Es del interés de los investigadores generar en los estudiantes cercanía y gusto por la matemática, reflejada en la confianza, y la apropiación más significativa del conocimiento, pues como bien se sabe, si el sentimiento de gusto disminuye el rechazo aumentará, teniendo influencia directa en lo cognitivo, como lo sostiene en su investigación

Hidalgo & Maroto (2004), son estas dificultades y la imposibilidad de superación lo que genera el rechazo. Por otra parte, estudios como los de Estrada & Diez (2011), coinciden que la confianza que tenga una persona influye en los resultados que obtenga en el estudio de las matemáticas.

Al hacer las conexiones entre la geometría y otros campos de estudio, se da un nuevo sentido al proceso de aprendizaje del estudiante, encontrando a la geometría ya no como algo aislado y sin sentido, si no por el contrario, tomando un nuevo significado.

Se espera además disminuir este rechazo hacia la matemática si llegase a existir, con el uso e implementación de las TIC en el aula, ya que es una manera de cambiar la clase, haciendo de esta algo más dinámico.

Si desea conocer el AVA, puede ingresar al siguiente enlace: <https://alejopinzon.gnomio.com/course/view.php?id=5>

#### REFERENCIAS

- [1] Battista, M.T. (2008). Development of shapemakers geometry microworld. In Blume, G.W., Heid, M.K. (Eds.), Research on Technology and the Teaching and Learning of Mathematics Vol. 2: Cases and Perspectives (pp. 131-156). Information Age Publishing.
- [2] Cantoral, R. (31 de Julio de 2007). En el marco de la Vinteava Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa. (R. Eddie, Entrevistador) Maracaibo, Venezuela.
- [3] Cantoral, R. (2001). Un estudio de la formación social de la analiticidad. En Matemática educativa (pág. 373). México: Grupo Editorial Latinoamérica.
- [4] Cantoral, R., Farfán, R. M., Lezama, J., & Martínez, G. (2006). Socioepistemología y representación: algunos ejemplos. Revista Latinoamérica de Investigación y matemática educativa, 83-102.
- [5] Estrada, A., & Diez-Palomar, J. (2011). Las actitudes hacia las Matemáticas. Análisis descriptivo de un estudio de caso exploratorio centrado en la Educación Matemática de Familiares . *Revista de Investigación en educación*, 9(2), 116-132.
- [6] Hidalgo Alonso, S., Marato Sáez , A., & Palacios Picos, A. (2004). ¿Por qué se rechazan las matemáticas? Análisis evolutivo y multivariante de actitudes relevantes hacia las matemáticas. *Revista de educación*(334), 75-95.
- [7] Jones, K. (2000), "Providing a foundation for deductive reasoning: Students' interpretations when using dynamic geometry software and their evolving mathematical explanations", *Educational Studies in Mathematics*, vol. 44, núm. 1, pp. 55-85.
- [8] Laborde C. (1998). Visual phenomena in the teaching/learning of geometry in a computer- based environment. En: C. Mammana & V. Villani (Eds.). Perspectives on the teaching of geometry for the 21 st Century. ICMI Study. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher
- [9] Mariotti, M.A., Cerulli M.: 2001 Semiotic mediation for algebra teaching and learning, Proceedings of the 25th PME Conference, Vol. 3, pp. 343-51. Edited by Maria van den Heuvel-Pnhuijen, Freudenthal Institute, Utrecht University, The Nederlands.
- [10] Marrades, R.; Gutierrez, A. (2000). Proofs produced by secondary school students learning geometry in a dynamic computer environment, *Educational Studies in Mathematics* 44 (1/2), 87-125.

- [11] Reigeluth, C. M. (1999). What is instructional-design theory and how is it changing? En C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models, Volume II: A New Paradigm of Instructional Theory* (págs. 5-9). Nueva Jersey.
- [12] Tall, D., & Vinner, S. (1981). Concept Image and Concept Definition in Mathematics with particular reference to Limits and Continuity. Published in Educational Studies in Mathematics (12), 151-169.
- [13] Torrellas, L., & Romano, E. (15 de Noviembre de 2009). La Socioepistemología una Aproximación Teórica para Educar en Valores. Revista Electrónica REDINE-UCLA, 1(1), 1-11.

# Metacognición y Metalenguaje para el desarrollo del Pensamiento Crítico.

Ambientes Digitales y Gestión del Conocimiento en Formación Preclínica de Odontología.

## Metacognition and Metalanguage to develop Critical Thinking

Digital Environments and Knowledge Management on preclinical training of dental students.

Paula Torres Hidalgo

Facultad de Odontología  
Universidad de Concepción  
Concepción, Chile  
[pautorres@udec.cl](mailto:pautorres@udec.cl)

Daniela Pino Valenzuela

Facultad de Odontología  
Universidad de Concepción  
Concepción, Chile  
[danielapino@udec.cl](mailto:danielapino@udec.cl)

Marcelo Careaga Butter

Facultad de Educación  
Investigador Asociado CIEDE  
U. Católica Ssma. Concepción  
Concepción, Chile  
[mcareaga@ucsc.cl](mailto:mcareaga@ucsc.cl)

**Resumen**—La investigación tuvo como objetivo principal validar un Modelo de Gestión del Conocimiento, basado en metacognición y metalenguaje, como una forma innovadora de enseñar y de aprender. En la aplicación del modelo se complementó la docencia presencial con el aprendizaje en un entorno virtual en la formación preclínica de estudiantes de odontología. Las estrategias metodológicas se aplicaron para desarrollar el pensamiento crítico en los estudiantes, promoviendo la administración de información y la generación de conocimiento transferible, vinculando el capital intelectual individual con la conformación de un capital social colaborativo en los estudiantes. La investigación fue de tipo pre-experimental con un enfoque cuali-cuantitativo con predominancia cualitativa, desarrollándose un estudio de caso con una sola medición. Se consideró en el diseño la investigación-acción, debido a la participación activa de los investigadores y a la obtención de conocimiento derivado de la observación de las prácticas. Las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos fueron focus group, entrevista en profundidad, observación virtual y análisis documental. La información obtenida de los informantes claves y datos de la plataforma utilizada, se ordenó realizando reducción por preguntas y categorías. El análisis de la información incluyó una triangulación basada en una matriz de análisis de datos cualitativos. Se concluyó aceptando el supuesto principal, el cual confirma que cuando los estudiantes trabajan en ambientes digitales complementando el aprendizaje presencial, sustentados en un Modelo de Gestión del Conocimiento, son capaces de desarrollar pensamiento crítico a través de procesos metacognitivos y de metalenguaje.

**Palabras Clave**—gestión del conocimiento; metacognición; metalenguaje; pensamiento crítico; odontología; ambiente virtual de aprendizaje.

**Abstract**—The research was focused on the validation of a Knowledge Management Model, based on metacognition and

metalanguage, as an innovative way of teaching and learning. The incorporation of this Model into preclinical training of dental students complemented the presence-teaching process with learning on a virtual environment. The methodological strategies were applied to develop student's critical thinking, promoting the administration of information and generation of transferable knowledge, linking the individual capital with the social collaborative capital on the students. The research was pre-experimental with a qualitative-quantitative approach with qualitative predominance. It was carried out a case study with a single measurement. It considered an action research design due to the active participation of researchers and the attainment of knowledge from the observation of the practices. The techniques and instruments used for data collection were: focus groups, in-depth interview, virtual observation and documental analysis. The information obtained from key informants and data from the platform, was ordered through reduction of questions and categories. The analysis of the information included a triangulation based on a matrix of qualitative data analysis. As a conclusion the main assumption was accepted. Furthermore, it confirms that when students work in digital environments as a complement of classroom learning, supported in a Model of Knowledge Management, they are able to develop critical thinking through metacognitive processes and metalanguage.

**Keywords**— knowledge management; metacognition; metalanguage; critical thinking; dentistry; virtual learning environment.

### I. INTRODUCCIÓN

Estamos en una transición cultural que ha provocado profundos cambios en el hombre y la sociedad, especialmente en las formas de ser inteligente y de resolver los problemas. Uno de los factores relevantes ha sido el creciente desarrollo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y su

impacto en las relaciones entre los hombres y las instituciones. En una realidad en que las ideas y las cosas están en constante cambio, es conveniente formar profesionales con nuevas capacidades intelectuales y competencias, para que sean capaces de responder a necesidades que emergen de estas dinámicas inéditas en la historia del hombre. Las nuevas formas de resolver los problemas, teóricos y/o prácticos, con soporte de TIC requieren nuevas capacidades que se relacionan con el uso eficaz de las tecnologías, para lograr eficiencia en la administración de la información y superar una frontera epistemológica que permita gestionar conocimiento [1]–[3].

Numerosas investigaciones [4]–[7] dan cuenta del escaso impacto que tiene la escolarización sobre el desarrollo de habilidades de pensamiento. Uno de los objetivos educativos primordiales debiera ser la estimulación de un pensamiento de orden superior que sea capaz de abordar la metacognición y el metalenguaje como elementos propios del aprendizaje [8]. Éste, no sólo debiera limitarse a la entrega de información y a la mnemotecnia, sino también debiera promover habilidades intelectuales, tales como comprender, adaptar, analizar, evaluar, asimilar y reflexionar acerca de lo que se aprende y cómo se aprende, empleando estrategias y técnicas que lo hagan efectivo [9]. Además, los estudiantes deberían desarrollar la capacidad metalingüística de transferir su conocimiento mediado por alguna expresión de lenguaje, especialmente cuando son de Educación Superior.

En un mundo complejo como el actual, donde el flujo de la información no es un problema, pero sí lo es la valoración crítica de la misma [10], [11], promover experiencias que estimulen el ejercicio del pensamiento crítico es fundamental, para formar estudiantes capaces de pensar, no solamente sobre contenidos académicos sino también sobre cómo resolver problemas emergentes.

Promover una formación centrada en el aprendizaje autónomo y colaborativo de los estudiantes, ya es una tendencia que está permeando a los docentes universitarios que forman profesionales para las demandas del siglo XXI, incorporando las TIC como herramientas que complementan la pedagogía presencial, contribuyendo a la mejora del proceso de enseñanza aprendizaje [12], [13].

Durante la formación preclínica de estudiantes de Odontología, éstos deben desarrollar competencias adquiriendo conocimientos, habilidades y destrezas que les permitan enfrentar de mejor forma la atención clínica de pacientes en el futuro [14], [15]. En la asignatura de Materiales Dentales y Preclínicas Integradas II (MDPI-II) los estudiantes practican de forma simulada indicaciones, tratamientos y procedimientos, constituyéndose como una transición entre el aprendizaje de las Ciencias Básicas y la Práctica Clínica con pacientes.

Estudiantes de odontología, pertenecientes a numerosas universidades del mundo, indican que el principal problema durante este período de transición, es la dificultad para integrar teoría y práctica [14], [16]. Debido a esto, surge la necesidad de generar espacios de aprendizaje que les aproximen y otorguen experiencias más cercanas a la realidad clínica y profesional, incluyendo estrategias metodológicas que les permitan aprender reflexionando respecto de sus aprendizajes correctos y de sus errores. Para lograrlo deben ser capaces de

reflexionar acerca de qué aprenden y cómo aprenden. Además, de profundizar los significados de estos aprendizajes, conceptualizando y transfiriendo su conocimiento por medio de alguna representación abstracta mediada por algún lenguaje.

Esta investigación se enfocó en lograr cambios pedagógicos visibles, favorecidos por el uso instrumental de TIC. Se potenció el trabajo autónomo y colaborativo de los estudiantes dentro de una Plataforma Moodle, de la Universidad de Concepción, denominada Ambiente de Recursos para el Conocimiento Online (ARCO), la que se utilizó como un Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA), complementario a la docencia presencial.

El año 2014 se implementó un EVA, sustentado en un Modelo Pedagógico de Gestión del Conocimiento (MPGC), adaptado a la realidad de los estudiantes de Odontología, para lograr eficiencia en la administración de la información y estimular el traspaso de la frontera epistemológica en pro de la gestión de conocimiento. Como resultado de la experiencia recogida, acorde al diseño de investigación-acción planteado para este estudio, el año 2015 el modelo fue mejorado incorporando las variables de metacognición y metalenguaje, para contribuir con la fase de generación de conocimiento, la cual fue asociada a procesos de reflexión crítica y metacognitiva, los que permitieron promover la transferencia colaborativa de conocimientos y estimularon el desarrollo del pensamiento crítico.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo General

Validar un Modelo de Gestión del Conocimiento, basado en metacognición y metalenguaje, como una forma innovadora de enseñar y de aprender, para el desarrollo del pensamiento crítico con el uso de ambientes digitales como complemento a la docencia presencial, en formación preclínica de estudiantes de odontología.

### B. Objetivos Específicos

- Evaluar las percepciones de los estudiantes en formación preclínica con respecto al desarrollo del pensamiento crítico y aprendizaje mediante procesos metacognitivos y de metalenguaje con el uso de ambientes digitales
- Validar un Modelo de Gestión de Conocimiento basado en la metacognición y el metalenguaje, implementado en un ambiente de digital, como estrategias pedagógicas que permiten desarrollar el pensamiento crítico y vincular el capital intelectual individual con el capital social durante la formación preclínica de estudiantes de odontología.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue de tipo pre-experimental con un enfoque cuali-cuantitativo con predominancia cualitativa, desarrollándose un estudio de caso con una sola medición. Se incorporó aspectos de un diseño de investigación-acción, facilitando la generación de conocimiento a partir de la propia práctica, permitiendo al investigador ser un elemento activo

dentro del proceso de investigación, revisando y ajustando su diseño en el tránscurso del estudio [17], [18].

La muestra fue discreta, intencional y no probabilística, estuvo constituida por 7 estudiantes en la primera etapa y por 4 en la segunda. Como criterios de inclusión se consideró: cursar por primera vez la asignatura de MDPI-II en la Facultad de Odontología de la Universidad de Concepción los años 2014 y 2016 respectivamente y ser parte del grupo de trabajo de la docente investigadora.

Se utilizó como entorno virtual de aprendizaje la plataforma ARCO (Fig. 1 y 4) y la plataforma Google Drive como repositorio de información (Fig. 2).



Fig. 1. Plataforma ARCO de la Universidad de Concepción.

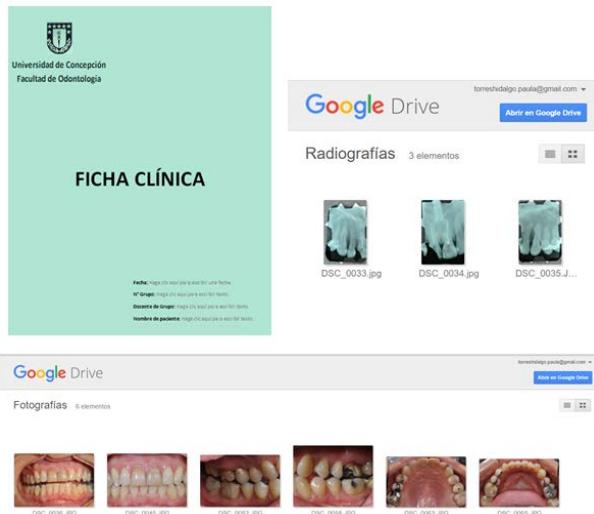


Fig. 2. Información clínica proporcionada a los estudiantes en Google Drive.

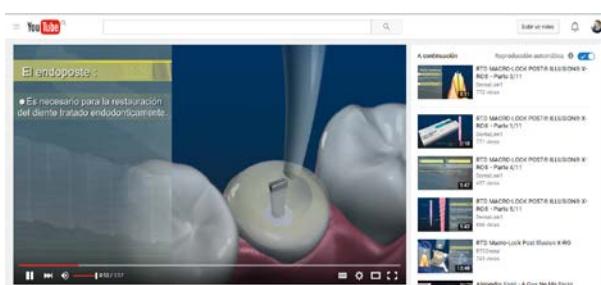


Fig. 3. Enlace proporcionado para conocer nuevos procedimientos clínicos.

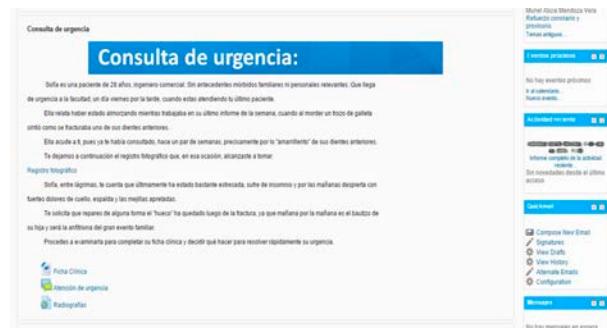


Fig. 4. Historia clínica proporcionada a los estudiantes.

La plataforma ARCO representó un espacio reflexivo, en el cual los estudiantes accedieron a información clínica (Fig. 2), materiales y procedimientos restauradores nuevos (Fig. 3), complementarios a sus conocimientos previos y que fueron útiles para resolver, autónoma y colaborativamente, los casos clínicos que se fueron planteando (Fig. 4).

En la etapa piloto se consideró como estrategia y plan de acción tomar la actividad y adaptarla a un MPG, registrando la percepción de los estudiantes, respecto de la innovación metodológica, mediante un focus group. Como resultado de esta experiencia, el año 2015, el modelo fue mejorado incorporando las variables de metacognición y metalenguaje, en la etapa de generación de conocimiento para favorecer la transferencia colaborativa de conocimientos y el desarrollo del pensamiento crítico.

Se estimuló en los estudiantes la necesidad de investigar y reflexionar acerca de las diversas alternativas disponibles (materiales, técnicas de restauración, entre otras), favoreciendo la reflexión personal (Reflexión metacognitiva) y grupal (Reflexión crítica) para la toma de decisiones. Cada estudiante socializó su capital intelectual individual, enriqueciendo y creando capital social. Este punto constituye la piedra angular de la presente investigación, ya que cambia la forma en que los estudiantes acostumbran a realizar sus prácticas preclínicas y su actividad académica en general.

Las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos en esta etapa, fueron entrevista en profundidad, observación virtual y análisis documental utilizando pautas de entrevista semiestructurada, observación virtual y revisión documental, respectivamente (Fig.5).

Para el procesamiento de los datos, se recolectó la información proporcionada por cada informante clave, luego se ordenó realizando reducción por preguntas y categorías. El análisis de la información se basó en una matriz de triangulación de datos cualitativos (Fig.5).



Fig. 5. Código QR con acceso a instrumentos de recolección de datos y análisis de la información.

#### IV. DESARROLLO

La aplicación pedagógica de la Gestión del Conocimiento (GC) favorece la construcción colaborativa de la didáctica, promoviendo el desarrollo del Capital Intelectual y el Capital Social, situando el aprendizaje organizacional como eje central de los procesos [3].

La GC, es un concepto originado en el mundo empresarial, donde el capital intelectual albergado en cada individuo, perteneciente a una organización, cobra valor, ya que el desarrollo de conocimiento propio es fundamental para el progreso de una institución y la hace más competitiva en el mercado [19].

Existen numerosos modelos que intentan explicar la GC. Para el desarrollo de este estudio, nos basamos en el MPGc (Fig. 6).

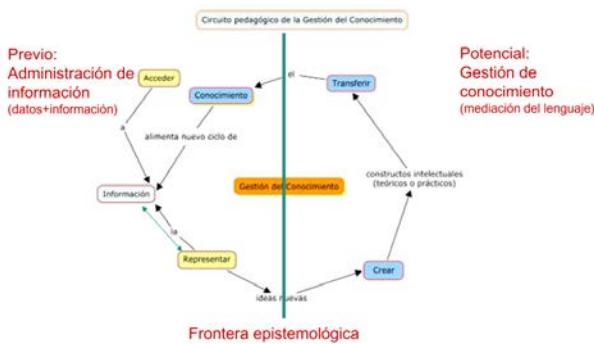


Fig. 6. Modelo Pedagógico de Gestión del Conocimiento (M. Careaga, 2007; actualización S. Barnes, 2015)

El MPGc se compone de dos grandes fases: una fase previa llamada Administración de Información (procesamiento de datos e información), en la cual los estudiantes acceden a fuentes de información, las administran y las representan mentalmente. Y, una fase superior de Gestión del Conocimiento. Para que los estudiantes logren alcanzar esta etapa, deben traspasar la frontera epistemológica, lo cual ocurre cuando éstos son capaces de desarrollar constructos intelectuales (teóricos o prácticos) y de hacerlos transferibles a través de alguna expresión de lenguaje. La noción de lenguaje, en un sentido epistemológico implica el uso de cualquier medio abstracto de representación de la realidad para hacerla transferible (realidad inmanente de las ideas o realidad concreta u objetiva de las cosas y los objetos). Por ejemplo: lenguaje musical, lenguaje materna, lenguaje de señas u otros.

Tradicionalmente, durante la formación preclínica, los estudiantes alcanzan el nivel de representación de la información, quedando cautivos en la fase previa del ciclo de gestión del conocimiento, memorizando y repitiendo contenidos para aprobar certámenes y pruebas de destrezas prácticas. El año 2014 se adapta el MPGc a la realidad académica de los estudiantes de odontología durante este periodo (Fig. 7). Se implementó un EVA, como un espacio mediador, complementario la docencia presencial, en donde los estudiantes pudiesen transferir y retroalimentar efectivamente sus conocimientos en y hacia la comunidad educativa.



Fig. 7. Modelo de Pedagógico de Gestión del Conocimiento para Odontología (D. Pino, P. Torres y M. Careaga, 2014)

Como resultado de esta experiencia de investigación, el modelo fue mejorado incorporando las variables de metacognición y metalenguaje, en la etapa de generación de conocimiento, asociados a procesos de reflexión crítica y metacognitiva que permitieron una adecuada transferencia del conocimiento y desarrollo de pensamiento crítico (Fig. 8).

La fase previa o administración de la información, considera el acceso a la información; en donde, al igual que en el modelo de la Fig. 5, los estudiantes acceden a través de diversas fuentes de información (clases teóricas y demostraciones prácticas). Y, luego generan una representación mental personal de los contenidos.

Con la exposición de los estudiantes en el EVA a un problema clínico real, relacionado a la unidad que se encontraban cursando, se estimula el traspaso de la frontera epistemológica, favoreciendo la generación de conocimiento y el desarrollo de pensamiento crítico, a través procesos de reflexión metacognitiva y crítica (Fig. 8).

Desde el punto de vista teórico, la reflexión es considerada una actividad intelectual-afectiva en la que los individuos se comprometen e involucran con la exploración de sus experiencias, para lograr nuevos entendimientos y apreciaciones [20]. Cuando se reflexiona sobre los pensamientos y emociones, como resultado de una secuencia instruccional, el proceso de aprendizaje contribuye a que el estudiante construya nuevos significados desde la información y experiencia [21]. Además, la reflexión promueve que los estudiantes puedan integrar teoría y práctica [22].

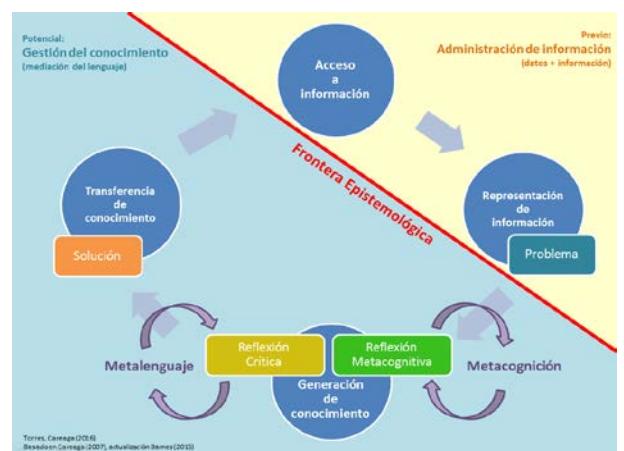


Fig. 8. MPGc con procesos metacognitivos y de metalenguaje (P. Torres y M. Careaga, 2016)

La reflexión metacognitiva es un proceso en el cual el estudiante toma conciencia de lo que aprende, generando un autocontrol sobre su propio pensamiento, planificando y regulando el uso eficaz de los propios recursos cognitivos para desarrollar o plantear posibles soluciones al problema descrito, conociendo mejor sus propias capacidades y limitaciones, elemento esencial para el proceso de pensamiento crítico, ya que permite supervisar si la información en que se basan las opiniones son adecuadas y las inferencias son razonables.

La reflexión crítica es un proceso metacognitivo de elaboración de juicio y acción que tiende al automejoramiento, lo que implica: contemplar perspectivas diferentes a la propia, sensibilidad hacia el contexto y acción continua y permanente. Es considerada una etapa más social, en donde el individuo enfrenta su razonamiento con el de sus pares, conceptualizando y co-elaborando conocimientos a través del metalenguaje y, a su vez, haciéndolos transferibles, completando de esta forma el circuito de gestión del conocimiento.

Los contenidos en ciencias de la salud provienen de investigaciones realizadas por científicos y expertos, quienes transmiten sus representaciones mentales a una comunidad científica, por medio de modelos teóricos (saber sabio), los cuales son conocidos por las nuevas generaciones a través de la educación (saber enseñable). Para que este conocimiento científico logre ser comprendido por los estudiantes, requiere de la intervención del docente o de sus pares, quienes hacen su propia interpretación y lo enseñan, es decir, por medio de la socialización académica, hay una transformación del saber sabio al saber enseñable [23].

El metalenguaje asociado a la reflexión metacognitiva implica la capacidad hacer una transposición didáctica, es decir, los estudiantes tienen la capacidad de transformar el lenguaje técnico en un lenguaje comprensivo, de esta forma éstos transforman el fenómeno, proceso, procedimiento o solución conocido, para que sea comprensible para un sujeto que no ha vivido esa experiencia.

Incluyendo procesos metacognitivos y de metalenguaje, al circuito pedagógico de gestión de conocimiento, los estudiantes son capaces de tomar conciencia acerca de lo aprendido y de expresarlo de manera precisa mediante un lenguaje formal, para transferir ese conocimiento o capital intelectual individual y convertirlo en capital social.

## V. RESULTADOS

### A. Focus group:

Las principales tendencias de opinión de los estudiantes fueron:

- Las clases teóricas y las prácticas preclínicas no son suficientes para enfrentar la clínica, reconociendo que la reflexión de casos clínicos contribuye a fortalecer su formación preclínica.
- El trabajo realizado en la plataforma constituye una innovación metodológica, que fomentó el autoaprendizaje, motivando a investigar e impulsando el aprendizaje colaborativo mediante la reflexión grupal.

- La aplicación de un MPG permitió aplicar la teoría a casos clínicos prácticos, favoreciendo la reflexión profunda de aspectos que, mediante la metodología tradicional, no se hubiesen considerado, acercándolos más a la realidad clínica.

### B. Entrevista en profundidad:

La información más relevante profundizada por los estudiantes, se sintetiza en los siguientes puntos:

- La actividad en plataforma estimuló la reflexión de cómo, por qué, con qué y para qué se aprende.
- Se vuelve a reflexionar al contrastan la opinión propia con la de sus pares estimulando el desarrollo del pensamiento crítico.
- Las reflexiones críticas y metacognitivas contribuyen a la preparación clínica, otorgando experiencia y ampliando puntos de vista.
- El aprendizaje entre pares mediante metalenguaje y transposición didáctica contribuyó a la transferencia de capital intelectual individual y al enriquecimiento del capital social.

### C. Observación Virtual:

Lo más representativo obtenido del desempeño de los estudiantes dentro de la plataforma ARCO fue lo siguiente:

TABLA I. ACTIVIDAD EN PLATAFORMA

	Actividad		
	Vistas	Comentarios	Total
Sujeto 1	38	6	44
Sujeto 2	63	12	75
Sujeto 3	109	11	120
Sujeto 4	15	3	18
TOTAL	225	32	257

Hubo un total de 257 intervenciones en la plataforma ARCO, entre revisiones de la información (vistas) y comentarios propiamente tal, de los cuales 225 (88%) fueron solo revisiones y 32 (12%) comentarios.

De lo anterior se puede inferir, que los estudiantes revisaron exhaustivamente la información del caso clínico que se les planteaba, antes de generar reflexiones al respecto.

TABLA II. TIPOS DE COMENTARIOS

	Comentarios			
	Comentarios Totales	Reflexiones Metacognitivas	Reflexiones Críticas	Comentarios Vacíos
Sujeto 1	6	5	4	0
Sujeto 2	12	11	7	0
Sujeto 3	11	9	4	1
Sujeto 4	3	2	0	1

Finalmente, al analizar el tipo de comentarios efectuados por cada estudiante, de acuerdo a los siguientes criterios:

1) *Reflexión metacognitiva*: Capacidad de estructurar un pensamiento propio y tomar de conciencia acerca del propio aprendizaje.

2) *Reflexión Crítica*: Capacidad de expresar y transferir lo conocido a través del lenguaje (gráficas, conceptuales, reflexivas o simbólicas).

3) *Comentario vacío*: No aporta a la reflexión grupal, copia y pega comentario.

Todos los estudiantes lograron alguna reflexión metacognitiva o crítica, alcanzando procesos cognitivos y reflexivos más profundos, con el fin de lograr resolver los casos clínicos planteados.

#### D. Análisis documental:

Algunos ejemplos de análisis documental:

- Reflexiones críticas de los estudiantes acerca de la propia opinión y la de sus compañeros, razonando, planteando soluciones y tomando decisiones acerca de que tratamiento o material sería el adecuado para el caso clínico planteado (Fig. 9).



Fig. 9. Ejemplo de reflexión crítica, realizada por sujeto 2.

- Reflexión de los estudiantes acerca de su propio conocimiento, corrigiendo sus errores, al conocer la experiencia de otros compañeros, y transfiriendo sus conocimientos, basados en experiencias previas e investigación personal, contribuyendo a la conformación de capital social mediante la transferencia de su capital intelectual individual.
- Transferencia de conocimientos utilizando otras formas de expresión de lo aprendido (Fig. 9 y 10).



Fig. 10. Código QR que accede a mapa conceptual creado por sujeto 1

#### E. Triangulación:

Las principales coincidencias y discrepancias obtenidas de la triangulación son:

- Los estudiantes otorgan gran importancia al trabajo colaborativo para la mejora de sus aprendizajes.

- Apoyar la docencia presencial con TIC, permite a los estudiantes acceder a contenido digital para investigar y complementar sus reflexiones.
- El ARCO permitió la interacción fluida de los estudiantes. Sin embargo, se sugiere trabajar en la creación de una aplicación móvil que permita acceder de forma mucho más rápida a la actividad, permitiendo reemplazar el uso del computador por dispositivos móviles.
- La mayoría de los estudiantes desarrolló aprendizaje autónomo, motivándose a investigar, con el objetivo de profundizar y dar sustento a sus reflexiones.
- Las reflexiones colaborativas enriquecieron el capital intelectual individual de cada estudiante, mejorando sustancialmente sus aprendizajes y generando capital social.
- Al conocer qué y para qué es lo que se aprende, los estudiantes comprenden rápidamente, asociando conceptos y procedimientos.
- El trabajo dentro del EVA contribuye a la preparación de los estudiantes para la clínica, ya que les otorga experiencia y amplía sus puntos de vista.
- Los estudiantes transfieren sus conocimientos, no sólo a través de las reflexiones metacognitivas, sino que también mediante el uso de otras formas de expresión de lo aprendido, como: fotografías, dibujos, esquemas y videos.

## VI. DISCUSIÓN

La salud y la informática, como áreas del conocimiento, poseen dos características en común: la generación de nuevos conocimientos y el cambio constante de procedimientos y aplicaciones [24].

Los estudiantes en formación preclínica utilizaron las TIC como herramientas facilitadoras en la generación de conocimientos [25], [26] e involucrando el pensamiento crítico, al momento de representar su propio conocimiento y pensar de manera reflexiva sobre lo que sabían. Situando el rol del estudiante en el eje central del proceso de enseñanza aprendizaje, devolviéndoles la capacidad de generar conocimiento sobre la base de sus habilidades y conocimientos previos, colaborando con sus pares e interactuando con el docente como tutor, en lugar de simplemente publicar y transmitir la información, como lo proponen [27], [28].

La implementación de un EVA constituyó el espacio formativo basado en TIC, que permitió al docente tutor enfrentar a sus estudiantes a diversas herramientas y servicios para el aprendizaje, como lo plantea [29].

El desarrollo del proceso de enseñanza aprendizaje dentro de un EVA, tal como lo expone [30], enfrentó a los estudiantes a las nuevas necesidades del mundo laboral, permitiéndoles trabajar, colaborar, aprender de una gran variedad de fuentes y personas, investigar y colaborar con sus propios conocimientos en una comunidad virtual, fomentando un enfoque más profundo de los aprendizajes, acorde con [31]. Tal como lo

plantea [32], se buscó generar experiencias prácticas, o de resolución de problemas, y ejercicios de pensamiento crítico con metodologías que favorecieran la reconexión entre la teoría y la práctica, disminuyendo la brecha existente entre el paso de los estudiantes, desde la formación preclínica y la práctica clínica, descrito por [14], [16].

Al sustentar la presente investigación en un MPGC, se estimuló a los estudiantes a traspasar la barrera epistemológica, enriqueciendo su capital intelectual individual a través de la transferencia de conocimientos, mediado por procesos metacognitivos y de metalenguaje, revalorando el capital social, tal como señala [33].

Coincidentemente con [34], en la medida que los estudiantes fueron más conscientes de los mecanismos de autorregulación de los procesos que utilizaban para el aprendizaje, lograron una mejor comprensión, supervisión y valoración de los contenidos conceptuales y procedimentales en el desarrollo de la actividad. Logrando aprender de la experiencia y los errores colaborativamente a través de la reflexión.

La etapa de reflexión crítica, fue un proceso metacognitivo de elaboración de juicio y acción, tendiente al automejoramiento en cada estudiante, en donde estos enfrentaron su razonamiento con el de sus pares, conceptualizando y co-elaborando conocimientos a través del metalenguaje y, a su vez, haciéndolos transferibles, completando de esta forma el circuito de gestión del conocimiento.

Es en este punto, donde los estudiantes transformaron contenidos del saber sabio (saber científico) a una versión comprensible para la enseñanza, denominada saber a enseñar, desarrollando el concepto llamado transposición didáctica [23], haciendo de esta manera transferible el capital intelectual albergado en cada uno, utilizando otras formas de expresión de lo aprendido. En el caso de esta investigación, dichas formas están mediadas por TIC y pueden ser formas gráficas, conceptuales, reflexivas o simbólicas.

Finalmente, tal como lo indica [35], a través de esta investigación se logran generar nuevas evidencias respecto del positivo impacto que representa el correcto uso de TIC, como complemento dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, para una mejor formación de los futuros odontólogos.

## VII. CONCLUSIONES

### A. Conclusión teórica

Al realizar esta innovación metodológica con TIC, durante el periodo de formación preclínica en Odontología, considerando la incorporación de un MPGC para fundamentar esta investigación, se puede concluir que la gran diferencia con el método tradicional de enseñanza, la marca la transferencia del conocimiento. Ésta permite revalorar el capital intelectual individual en pro de la creación y enriquecimiento de un capital social, resultante de la colaboración académica en el caso de esta investigación.

La aplicación del modelo es altamente valorado por los estudiantes, sobre todo al momento en que reconocen que el

hecho de compartir la reflexión sobre los errores que cometieron, les ayuda a no volver a cometerlos y además, al transferir sus experiencias de aprendizaje, posibilitan que otros estudiantes se nutran de dicha experiencia.

La metacognición es una forma de cognición que al ser aplicada permite a los estudiantes hacer una toma de conciencia acerca de lo aprendido, valorando lo que aprendieron, reconociendo las formas en cómo aprendieron y asignándole significados a lo aprendido.

El metalenguaje es otra forma de cognición que permite hacer transferible el capital intelectual de los estudiantes al utilizar otras formas de expresión de lo aprendido, en el caso de esta investigación dichas formas están mediadas por TIC y pueden ser de tipo gráficas, conceptuales, reflexivas o simbólicas.

### B. Conclusiones empíricas

*1) Supuesto 1:* Si los alumnos trabajan en ambientes digitales sustentados en un Modelo de Gestión del Conocimiento, como complemento a la docencia presencial, son capaces de desarrollar pensamiento crítico a través de metacognición y de metalenguaje.

Para que exista desarrollo de pensamiento crítico, las capacidades intelectuales solas no consiguen la eficacia de un pensador crítico, para pensar, se debe querer pensar. Para poner en marcha este proceso, primero se debe motivar a los estudiantes activando sus destrezas, en el caso de esta investigación la estrategia de motivación fue complementar el aula de clases con un EVA que resultó ser un ambiente mucho más amigable y cómodo para trabajar. A través, de procesos metacognitivos y de metalenguaje se consigue mayor eficacia de estas destrezas intelectuales, en el transcurso de esta investigación los estudiantes fueron capaces de adaptar el conocimiento, fruto de la reflexión acerca del proceso de cómo aprendieron, y lo pusieron a disposición de sus compañeros, a través del lenguaje, para que ellos aprendieran de su experiencia.

*2) Supuesto 2:* La aplicación pedagógica de un Modelo de Gestión del Conocimiento, implementado en un ambiente de digital, permite validar la metacognición y el metalenguaje como estrategias pedagógicas durante la formación preclínica de estudiantes de odontología.

Al aplicar el Modelo de Gestión del Conocimiento en la formación preclínica de estudiantes de Odontología se logra validar la metacognición como estrategia pedagógica en dicha etapa. Esto se logra evidenciar en las reflexiones metacognitivas que los estudiantes desarrollaron en el EVA, lo cual les permitió reflexionar acerca de sus errores de aprendizaje, analizar las causas de los mismos y transferirlos a sus compañeros, enriqueciendo de esta manera su capital intelectual individual con el desarrollo de un capital social colaborativo. El 100% de la muestra logró hacer alguna reflexión empleando la metacognición o el metalenguaje, con el fin de lograr resolver los casos clínicos planteados.

Por otra parte, al aplicar el MPGC, se revaloriza la transferencia de conocimientos como hito fundamental dentro del proceso de enseñanza aprendizaje, el paso desde capital intelectual hacia capital social, no sería posible sin la

mediación de metalenguaje. Esto se evidenció en los comentarios de reflexión crítica y los diversos recursos que los estudiantes utilizaron para representar sus aprendizajes. Las tendencias de opinión de la mayoría de los estudiantes, establecen que transfiriendo lo que aprenden y reflexionando junto a sus compañeros, el conocimiento adquirido es mucho mayor y de mejor calidad, alcanzando aprendizajes significativos gracias al complemento de los propios conocimientos con los de sus pares.

El modelo queda validado, ya que es posible identificar y evaluar cada una de sus partes: acceso, representación de información, creación y transferencia de conocimiento, lográndose identificar el traspaso de la barrera epistemológica entre administración de información y gestión del conocimiento al aplicarlo en la formación preclínica de estudiantes de odontología.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Odontología de la Universidad de Concepción y al decano Dr. Alex Bustos Leal por el apoyo y respaldo brindados, permitiendo que este estudio fuese ejecutado. También, nuestro reconocimiento al Magíster en Informática Educativa y Gestión del Conocimiento, de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, programa en el cual se realizó esta investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] UNESCO, “Conferencia Mundial sobre la Educación Superior,” 1998.
- [2] F. Bernaza, G., Tenorio, “El aprendizaje colaborativo: una vía para la educación de postgrado,” Rev. Iberoam. Educ., pp. 1–18, 2004.
- [3] M. Careaga y A. Avendaño, Currículum Cibernetico y Gestión del Conocimiento. Fundamentos y modelos de referencia. RIL Editores, Concepción: Universidad Católica de la Santísima Concepción, 2016.
- [4] R. Glaser, “The role of knowledge,” Am. Psychol., vol. 39, pp. 93–104, 1984.
- [5] D. Perkins, “Postprimary education has a little impact on informal reasoning,” J. Educ. Psychol., vol. 77, pp. 562–570, 1985.
- [6] A. Whimbey, “Test results from teaching thinking,” in Developing minds: A resource book for teaching thinking, Alexandria, VA, 1985, pp. 269–271.
- [7] R. Nickerson, “On improving thinking through instruction,” Rev. Res. Educ., vol. 15, pp. 3–57, 1988.
- [8] G. Aymes, “Pensamiento crítico en el aula,” Docencia e Investig. Rev. la Esc. Univ. Magisterio Toledo, vol. 37, no. 22, pp. 41–60, 2012.
- [9] S. Crispín, M., Doria, M., Rivera, A., De la Garza, M y Carrillo, Aprendizaje autónomo: orientaciones para la docencia. Mexico: Red Universitaria de Aprendizaje, 2011.
- [10] P. Facione, “Pensamiento Crítico : ¿ Qué es y por qué es importante ?,” Insight Assess., pp. 1–22, 2007.
- [11] P. Marciales, Pensamiento crítico: diferencias en estudiantes universitarios en el tipo de creencias, estrategias e inferencias en la lectura crítica de textos memoria. 2009.
- [12] K. M. Howard, T. Stewart, W. Woodall, K. Kingsley, and M. Ditmyer, “An integrated curriculum: evolution, evaluation, and future direction.,” J. Dent. Educ., vol. 73, no. 8, pp. 962–71, Aug. 2009.
- [13] I. Latasa, P. Lozano, and N. Ocerinjauregi, “Aprendizaje Basado en Problemas en Currículos Tradicionales: Beneficios e Inconvenientes,” Form. Univ., vol. 5, no. 5, pp. 15–26, 2012.
- [14] E. a van Hell, J. B. M. Kuks, J. Schönrock-Adema, M. T. van Lohuizen, and J. Cohen-Schotanus, “Transition to clinical training: influence of pre-clinical knowledge and skills, and consequences for clinical performance.,” Med. Educ., vol. 42, no. 8, pp. 830–7, Aug. 2008.
- [15] C. Vergara and C. Zaror, “Proceso de enseñanza-aprendizaje en la clínica odontológica. Aspectos teóricos,” Rev. Educ. en Ciencias la Salud, vol. 5, no. 1, pp. 6–11, 2008.
- [16] N. Gutiérrez, “Implementación de una estrategia didáctica en la clínica de odontopediatría. Facultad de Odontología, UCR.,” Educación, vol. 36, no. 2, pp. 1–16, 2012.
- [17] F. Cisterna, Manual de Metodología de la Investigación Cualitativa para la Educación y Ciencias Sociales. Guía Teórico Práctica. Chillán, Chile.: Universidad del Bío- bío, 2007.
- [18] D. Schon, El profesional reflexivo. Barcelona: Editorial Paidós, 1998.
- [19] M. Obeso, M. Sarabia, and J. M. Sarabia, “Managing knowledge in organizations: Past, present and future,” Intang. Cap., vol. 9, no. 4, pp. 1042–1067, 2013.
- [20] D. Boud, D., Walker, “Barriers to reflection on experience,” in Refelction: Turning experience into learning, London: Kogan Page, 1985, pp. 18–40.
- [21] S. Boyd, L., Dooley, K., Felton, “Measuring learning i the affective domain using reflective writing about a virtual international agriculture experience,” Jurnal Agric. Educ., vol. 47, no. 3, pp. 24–32, 2006.
- [22] G. González, M., Albornoz, J., Navarro, Experiencias de la formación de competencias genéricas en educación superior: Casos basados en el conocimiento construido en la Universidad de Concepción, Chile., Sello Edit. Concepción: Universidad de Concepción, 2015.
- [23] Y. Chevallard, La transposición didactique. Du savoir savant au savoir enseigné. Argentina: AIQUE, 1997.
- [24] H. Torres, “Las tecnologías de la información y su influencia en la educación médico-odontológica,” Rev. Odontológica Mex., vol. 10, no. 3, pp. 102–104, 2006.
- [25] D. Jonassen, “Computers as mindtools for schools,” in Engaging critical thinking, New Jersey: Prentice-Hall, 2000.
- [26] G. Waldegg, “El uso de las nuevas tecnologías para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias,” Rev. electrónica Investig. Educ., vol. 4, no. 1, 2002.
- [27] S. Castillo, “Factores que se deben considerar al implementar estrategias de educación virtual en odontología,” Univ. Odontol., vol. 30, no. 65, pp. 97–103, 2011.
- [28] D. Galindres, D. y García, “Diseño y elaboración de un entorno virtual como sistema de apoyo al proceso de enseñanza de la fisicoquímica en el proyecto curricular de licenciatura en química como un espacio alternativo al trabajo autónomo en la modalidad por créditos Diana Madelen Ga,” in Tecné , Episteme y Didaxis: TED: 4º Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias, 2009, no. extraordinario, pp. 1028–1037.
- [29] D. Fernández, “Modulo 2. Fundamentos, sistemas y modelos del e-learning.,” in Curso Superior de Dirección y gestión de proyectos de e-learning, Madrid, 2008.
- [30] S. Porumb, D. Micu, and B. Orza, “Collaborative Learning Concept for Lifelong Learning,” 2012, pp. 518–525.
- [31] G. Gormley, K. Collins, M. Boohan, I. Bickle, and M. Stevenson, “Is there a place for e-learning in clinical skill? A survey of undergraduate medical students’ experiences and attitudes,” Med. Teach., vol. 31, no. 1, pp. 6–12, 2009.
- [32] L. Wilkinson, D., Smallidge, D., Boyd, L., Giblin, “Students’ perceptions of teaching methods that bridge theory to practice in dental hygiene education,” J. Dent. Hyg., vol. 89, no. 5, pp. 330–337, 2015.
- [33] M. Careaga, y A. Avendaño, “Modelo de Gestión del Conocimiento basado en la integración curricular de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la docencia universitaria. (GC+TIC/DU),” Rev. Rexe, 2006.
- [34] C. Mazzarella, “Desarrollo de habilidades metacognitivas con el uso de las TIC,” Red Rev. Científicas América Lat. el Caribe y Port., vol. 23, no. 2, pp. 175–204, 2008.
- [35] B. Khatoon, K. B. Hill, and a D. Walmsley, “Can we learn, teach and practise dentistry anywhere, anytime?,” Br. Dent. J., vol. 215, no. 7, pp. 345–7, Oct. 2013.

# Errores de accesibilidad más comunes en los sitios web de las universidades ecuatorianas

## *Most common accessibility errors in websites of Ecuadorian universities*

Tania Acosta

Departamento de Formación Básica  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito, Ecuador  
tania.acosta@epn.edu.ec

Sergio Luján-Mora

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos  
Universidad de Alicante  
Alicante, España  
sergio.lujan@ua.es

**Resumen**— La accesibilidad web en el Ecuador ha tomado gran importancia desde la publicación del Reglamento RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido Web”, vigente desde agosto del año 2016. El objetivo es garantizar que los sitios web ecuatorianos que presten un servicio público sean accesibles de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN ISO/IEC 40500. Por lo tanto, para las Instituciones de Educación Superior el cumplimiento del reglamento RTE INEN 288 es de carácter obligatorio. El objetivo de este estudio es presentar los resultados de una evaluación de la accesibilidad web e identificación de los errores más comunes que presentan los sitios web de las universidades ecuatorianas pertenecientes a las categorías A, B y C. Clasificación realizada por el Consejo de Evaluación acreditación y Aseguramiento de la Calidad (CEAACES). Finalmente se presentan recomendaciones con respecto a los errores que se han identificado en el diseño de los sitios web.

**Palabras clave**—accesibilidad web; discapacidad; WCAG 2.0; Instituciones de Educación Superior; RTE INEN 288; W3C.

**Abstract**— *The web accessibility in Ecuador has taken great importance since the Ecuadorian Technical Regulation RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido web” (The web content accessibility) was proposed. This regulation will enter into force in August, 2016. The main objective of this regulation is to guarantee that Ecuadorian websites that provide a public service should be accessible, according to the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN ISO/IEC 40500. Therefore, Ecuadorian Higher Education Institutions (HEI) compliance with Regulation RTE INEN 288 it is mandatory. The aim of this study is to show the result of an evaluate the web accessibility and to identify the common errors in websites from ecuadorian universities in categories A, B and C. This classification is according to the Board of Evaluation, Accreditation and Quality Assurance of Higher Education (CEAACES). Finally, this work presents general recommendations about the most common errors identified in the design of these websites.*

**Keywords**—accesibilidad web; discapacidad; WCAG 2.0; Instituciones de Educación Superior; RTE INEN 288; W3C.

### I. INTRODUCCIÓN

La manera de llevar a cabo nuestras actividades diarias ha cambiado drásticamente, a partir de la creación de la World Wide Web (WWW) por parte de Tim Berners-Lee [1]. En la actualidad resulta difícil pensar en realizar nuestras actividades sin el uso de recursos tecnológicos. Sin embargo, a pesar del desarrollo tecnológico el acceso a la información y servicios a través de la web por parte de personas con discapacidad (auditiva, visual, física, cognitiva, mental) o de edad avanzada (cuyas capacidades y habilidades se ven disminuidas por la edad) presentan dificultades. Por lo tanto, el lograr que los sitios web sean accesibles para todas las personas, y alcanzar la universalidad de la web constituye un reto para los diseñadores de los sitios web [2].

La accesibilidad web permite vencer las barreras que excluyen a las personas con o sin discapacidad de usar la web. Una de las metas de la accesibilidad es proveer un acceso equitativo, brindando igualdad de oportunidad a todas las personas. De esta manera se reconoce un derecho humano básico reconocido en la convención de la ONU que es el acceso de las personas con discapacidad a los nuevos sistemas y tecnologías de la información y las comunicaciones [3].

La información y servicios que proveen las organizaciones e instituciones, generalmente se encuentran disponibles en sus sitios web. Es así que en el Ecuador los estudiantes interesados en consultar información sobre una universidad y su oferta académica de grado o posgrado, puede hacerlo accediendo al portal de las Instituciones de Educación Superior (IES). Actualmente se cuenta con 47 universidades acreditadas de las cuales 3 universidades exclusivamente son de posgrado. El proceso de acreditación fue llevado a cabo por el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad (CEAACES) del Ecuador [4].

Por lo tanto, resulta necesario que los sitios web de la IES sean accesibles y brinden facilidades para que todas las personas puedan acceder a la información y servicios que ofrecen las instituciones.

Es importante recalcar que el acceso a la educación es un derecho humano [3]. Derecho que abarca la eliminación de la discriminación, y son los gobiernos los llamados a garantizar el cumplimiento de los derechos humanos. Es así que en el Ecuador se cuenta con una normativa que garantiza el acceso a la comunicación e información de todas las personas con o sin discapacidad.

#### A. Legislación de Ecuador

En el Ecuador se dispone del marco legal para que los sitios web de las IES públicas y privadas, sean diseñados e implementados considerando criterios de accesibilidad web.

En enero de 2014 se publicó en el Registro Oficial No. 171 la aprobación de 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)”. Esta Norma es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO/IEC 40500:2012 Information Technology - W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 [5].

El 10 de febrero de 2016, el Servicio Ecuatoriano de Normalización publicó el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 288 “Accesibilidad para el contenido web” [6], el cual regula la aplicación de la norma NTE INEN-ISO/IEC 40500. El reglamento RTE INEN 288 fue aprobado en enero del 2016 con carácter de obligatorio por parte del Ministerio de Industrias y Productividad y la Subsecretaría de la Calidad [6]. El RTE INEN 288 está en vigencia desde el 8 de agosto del 2016, del cual se puede resaltar lo siguiente de los Art.1, Art.2 y Art. 3:

El RTE INEN 288 establece los requisitos de accesibilidad que debe cumplir el contenido web publicado en los sitios web del sector público y privado que presten servicios públicos. El objetivo del reglamento es garantizar el acceso a la información y comunicación de todas las personas con y sin discapacidad.

En el Ecuador se exigirá que se satisfaga por completo el nivel de conformidad AA, establecido en la Norma NTE INEN-ISO/IEC 40500, vigente. El RTE INEN 288 establece como propietario del sitio web al representante legal de la institución que posee un sitio web publicado en internet. Los propietarios de los sitios web deben presentar la conformidad de cumplimiento del reglamento RTE INEN 288, el cual entró en vigencia desde el 8 agosto del 2016.

En el Art. 3 con respecto a los plazos para su cumplimiento, se incluyen las siguientes disposiciones transitorias:

**TRANSITORIA PRIMERA.** Los propietarios de los sitios web a los que se aplica este reglamento técnico tendrán un plazo de 2 años para adecuar sus sitios web existentes al

momento de entrar en vigencia el reglamento de acuerdo al nivel de conformidad “A” de la norma NTE INEN vigente.

**TRANSITORIA SEGUNDA.** Los propietarios de los sitios web a los que se aplica este reglamento técnico tendrán un plazo de 4 años para adecuar sus sitios web existentes al momento de entrar en vigencia el reglamento de acuerdo al nivel de conformidad “AA” de la norma INEN vigente.

**TRANSITORIA TERCERA.** En el plazo de 2 años la autoridad competente establecerá los procedimientos para la certificación de la accesibilidad del sitio web y su contenido.

El seguir las recomendaciones de la WCAG 2.0 permitirá que el contenido web sea accesible para todos los usuarios en general [7]. Estas pautas o directrices de accesibilidad están basadas en cuatro principios: perceptible, operable, comprensible y robusto. El objetivo es brindar facilidades a las personas para que puedan percibir, entender, navegar e interactuar con la web [2].

En este artículo se presenta una evaluación de la accesibilidad al contenido web establecido por la recomendación de las WCAG 2.0. La evaluación se realizó al contenido web de la página principal y oferta académica de todas las universidades acreditadas en el Ecuador. Las universidades Ecuatorianas de acuerdo con la clasificación realizada por el CEAACES, se categorizan de la siguiente manera:

- Categoría A (8 universidades).
- Categoría B (25 universidades).
- Categoría C (14 universidades).

Los resultados de este estudio permitirán que las autoridades de las universidades públicas y privadas tomen las acciones necesarias para cumplir con el reglamento RTE INEN 288.

#### B. Trabajos relacionados

A pesar de la importancia de este tema en el Ecuador se han realizado pocos estudios previos sobre la accesibilidad de las IES. Se tiene un estudio realizado a seis universidades ecuatorianas [8]. Los resultados indican en términos generales que los portales web de las universidades analizadas no cumplen las directrices propuestas por el grupo Iniciativas para la Accesibilidad Web (*Web Accessibility Initiative, WAI*), definidas en las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web WCAG 1.0 y WCAG 2.0. Los autores recomiendan que las universidades deberían liderar el tema de accesibilidad, dada su importancia como referentes de la sociedad.

De igual manera, se ha realizado un análisis a la página principal de 10 universidades ecuatorianas [9]. En las conclusiones de este estudio se expresan que las IES tienen un nivel muy bajo de madurez, pero una alta disposición a hacer una apuesta por la accesibilidad.

Pero los esfuerzos por concientizar sobre el cumplimiento de las directrices de accesibilidad web se realizan a nivel mundial. Se puede mencionar algunas investigaciones realizadas en universidades y sitios web gubernamentales, de países como: Brasil [10], Estados Unidos [11], Corea del Sur [12], Arabia Saudita [13], Kirguistán [14], los cuales evidencian de manera general la poca investigación con respecto al cumplimiento de los niveles de accesibilidad web.

## II. MATERIALES Y MÉTODO

Para esta investigación se consideraron todas las universidades acreditadas ubicadas en las categorías A, B y C (21 públicas y 26 particulares), de acuerdo a la clasificación realizada por el CEAACES [4]. Para realizar la evaluación se seleccionaron la página web principal y de oferta académica, ya que consideramos que son las páginas web con las cuales los usuarios interactúan con mayor frecuencia. La página principal o de inicio es la primera página web a la que los usuarios ingresan, es la carta de presentación de la IES, y dependiendo del nivel de accesibilidad que tenga la página principal depende que el usuario acceda al resto de páginas de un sitio web. La información con respecto a la oferta académica de las carreras de pregrado y posgrado es requerida con bastante frecuencia por parte de los estudiantes y aspirantes a ingresar a una IES. Razones por las cuales se seleccionaron evaluar la accesibilidad de estas dos páginas web.

En la actualidad existen varias herramientas en línea para analizar la accesibilidad de las páginas web [15]. En este estudio se seleccionó la herramienta eXaminator [16]. eXaminator es un software en línea que ofrece el servicio de evaluación de modo automático de la accesibilidad de una página web. Esta herramienta de evaluación automática toma como referencia algunas técnicas recomendadas por las WCAG 2.0. La evaluación con eXaminator se realizó con el URL de cada una de las páginas web de las universidades. Esta herramienta adjudica una puntuación entre 1 y 10 como un indicador rápido de la accesibilidad de las páginas. Además Proporciona un informe detallado del número de pruebas realizadas, ajustando la calificación a los juicios de valor: muy mal, mal, regular, bien, muy bien y excelente [17]. En este estudio los resultados obtenidos con respecto a los criterios regular, mal y muy mal, número de pruebas, URL de cada una páginas web analizadas fueron guardados en archivos pdf. Finalmente todos los errores detectados por la herramienta y número de caso, fueron registrados en una base de datos para su análisis y obtención de resultados.

## III. RESULTADOS

Los resultados de la aplicación de la herramienta eXaminator en la página web principal de las universidades, se muestran en la Tabla 1, y de la oferta académica en la Tabla 2. Se analizaron 47 universidades del Ecuador ubicadas en las categorías A, B y C, a través del URL correspondiente a cada página web.

De los resultados obtenidos se observa que por una limitación de la herramienta eXaminator, tres universidades (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo y Universidad de los Hemisferios) no pueden ser analizadas. La herramienta eXaminator no tiene la posibilidad de analizar páginas web cuyo URL están basadas en el protocolo seguro https. Por esta razón se consideraron 44 universidades que corresponde al 94% del total.

Con respecto al análisis de la accesibilidad web de la página principal se observa que el puntaje más alto es 7.9/10 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. De manera general el puntaje promedio de la página web principal de todas las universidades evaluadas es 5.0/10.

En la Fig. 1, se puede observar el puntaje promedio de accesibilidad de la página principal de las universidades de acuerdo a la categoría y tipo de financiamiento. El puntaje más alto en promedio es 6.6 correspondiente a las universidades privadas ubicadas en categoría A, mientras que las demás universidades mantienen un puntaje que no varía significativa (entre 4.8 y 5.1).

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 está desplegada en la página principal la cual ha sido ya analizada. 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 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. El puntaje promedio de accesibilidad de página web oferta académica de todas las universidades evaluadas es 5.1/10.

En la Fig. 2, se puede observar el puntaje promedio de accesibilidad de la página oferta académica, de las universidades de acuerdo a la categoría y tipo de financiamiento. El puntaje más alto es 6.3 correspondiente a las universidades privadas ubicadas en categoría A, mientras que las demás universidades mantienen un puntaje que no varía significativa (entre 4.6 y 5.4).

TABLA I. PUNTAJE ACCESIBILIDAD WEB, PÁGINA WEB PRINCIPAL DE UNIVERSIDADES CATEGORÍAS A, B Y C.

Num.	Categoría A	Página web evaluada	Puntaje	Num. pruebas	Regular	Mal	Muy Mal	Total errores			
1	Escuela Politécnica Nacional	<a href="http://www.epn.edu.ec/">http://www.epn.edu.ec/</a>	4.5	27	3	7	9	19			
2	Escuela Superior Politécnica del Litoral	<a href="http://www.espol.edu.ec/">http://www.espol.edu.ec/</a>	7.0	18	3	1	3	7			
3	Universidad San Francisco de Quito	<a href="http://www.usfq.edu.ec/Pag">http://www.usfq.edu.ec/Pag</a>	6.8	15	1	2	4	7			
4	Universidad de Cuenca	<a href="http://www.ucuenca.edu.ec/">http://www.ucuenca.edu.ec/</a>	6.2	23	4	3	6	13			
5	Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)	<a href="http://www.espe.edu.ec/port">http://www.espe.edu.ec/port</a>	2.8	21	2	5	11	18			
6	Universidad de Especialidades Espíritu Santo	<a href="http://uees.me/">http://uees.me/</a>	7.9	16	1	1	2	4			
7	Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales	<a href="https://www.flacso.edu.ec">https://www.flacso.edu.ec</a>	No es posible analizar con eXaminator								
8	Universidad Andina Simón Bolívar	<a href="http://www.uasb.edu.ec/">http://www.uasb.edu.ec/</a>	5.0	19	2	6	4	12			
<b>Categoría B</b>											
9	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	<a href="https://www.espoch.edu.ec/i">https://www.espoch.edu.ec/i</a>	No es posible analizar con eXaminator								
10	Pontificia Universidad Católica del Ecuador	<a href="http://www.puce.edu.ec/por">http://www.puce.edu.ec/por</a>	4.4	26	6	7	6	19			
11	Universidad Casa Grande	<a href="http://www.casagrande.edu">http://www.casagrande.edu</a>	5.2	20	4	8	2	14			
12	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	<a href="http://www2.ucsg.edu.ec/">http://www2.ucsg.edu.ec/</a>	5.3	25	3	4	7	14			
13	Universidad Central del Ecuador	<a href="http://www.uce.edu.ec/">http://www.uce.edu.ec/</a>	6.7	19	2	1	6	9			
14	Universidad del Azuay	<a href="http://www.uazuay.edu.ec/s">http://www.uazuay.edu.ec/s</a>	2.7	25	3	9	10	22			
15	Universidad Estatal de Milagro	<a href="http://www.unemi.edu.ec/">http://www.unemi.edu.ec/</a>	4.4	25	4	8	7	19			
16	Universidad Nacional de Loja	<a href="http://unl.edu.ec">http://unl.edu.ec</a>	5.3	17	3	2	5	10			
17	Universidad Particular Internacional SEK	<a href="https://www.uisek.edu.ec/es">https://www.uisek.edu.ec/es</a>	4.7	23	3	8	4	15			
18	Universidad Politécnica Salesiana	<a href="http://www.ups.edu.ec/web/">http://www.ups.edu.ec/web/</a>	5.3	22	3	3	8	14			
19	Universidad Técnica de Ambato	<a href="http://www.uta.edu.ec/v3.0/">http://www.uta.edu.ec/v3.0/</a>	5.2	24	4	4	8	16			
20	Universidad Técnica del Norte	<a href="http://www.utn.edu.ec/web/">http://www.utn.edu.ec/web/</a>	4.9	25	4	5	8	17			
21	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	<a href="http://www.uteq.edu.ec/ofcr">http://www.uteq.edu.ec/ofcr</a>	3.7	22	2	7	8	17			
22	Universidad Técnica Particular de Loja	<a href="http://presencial.utpl.edu.ec/">http://presencial.utpl.edu.ec/</a>	4.3	21	3	4	7	14			
23	Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil	<a href="http://www.uteg.edu.ec/gra">http://www.uteg.edu.ec/gra</a>	5.3	17	1	6	3	10			
24	Universidad Tecnológica Equinoccial	<a href="http://www.ute.edu.ec/Defa">http://www.ute.edu.ec/Defa</a>	3.9	19	0	5	8	13			
25	Universidad Tecnológica Indoamérica	<a href="http://www.uea.edu.ec/inde">http://www.uea.edu.ec/inde</a>	4.8	25	3	4	8	15			
26	Universidad de los Hemisferios	<a href="https://www.uhemisferios.e">https://www.uhemisferios.e</a>	No es posible analizar con eXaminator								
27	Universidad Estatal Amazónica	<a href="http://www.upec.edu.ec/">http://www.upec.edu.ec/</a>	4.9	23	2	5	9	16			
28	Universidad Politécnica del Carchi	<a href="http://www.unibe.edu.ec/in">http://www.unibe.edu.ec/in</a>	4.7	22	2	5	7	14			
29	Universidad Iberoamericana	<a href="http://www.utm.edu.ec/">http://www.utm.edu.ec/</a>	5.6	22	3	5	6	14			
30	Universidad Técnica de Manabí	<a href="http://www.udla.edu.ec/carr">http://www.udla.edu.ec/carr</a>	5.6	19	1	3	7	11			
31	Universidad de las Américas	<a href="http://uide.edu.ec/programa">http://uide.edu.ec/programa</a>	5.3	21	3	5	4	12			
32	Universidad Internacional del Ecuador	<a href="http://www.iaen.edu.ec">http://www.iaen.edu.ec</a>	5.5	18	3	3	4	10			
33	Instituto de Altos Estudios Nacionales	<a href="http://espan.edu.ec/pregrad">http://espan.edu.ec/pregrad</a>	5.2	23	5	5	5	15			
<b>Categoría C</b>											
34	Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí	<a href="http://www.udet.edu.ec/inde">http://www.udet.edu.ec/inde</a>	3.3	14	1	5	6	12			
35	Universidad de Especialidades Turísticas	<a href="http://upacifico.edu.ec/web/">http://upacifico.edu.ec/web/</a>	5.7	21	3	4	5	12			
36	Universidad del Pacífico Escuela de Negocios	<a href="http://www.ueb.edu.ec">http://www.ueb.edu.ec</a>	5.5	22	2	5	5	12			
37	Universidad Estatal de Bolívar	<a href="http://www.ulvr.edu.ec/Fac">http://www.ulvr.edu.ec/Fac</a>	5.6	22	3	6	4	13			
38	Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	<a href="http://umet.edu.ec/oferta-">http://umet.edu.ec/oferta-</a>	3.4	17	1	6	7	14			
39	Universidad Metropolitana	<a href="http://www.unach.edu.ec/in">http://www.unach.edu.ec/in</a>	5.2	24	4	6	6	16			
40	Universidad Nacional del Chimborazo	<a href="http://www.unach.edu.ec/in">http://www.unach.edu.ec/in</a>	4.0	27	5	6	10	21			
41	Universidad Regional Autónoma de los Andes	<a href="http://www.uniandes.edu.ec">http://www.uniandes.edu.ec</a>	6.3	21	3	3	5	11			
42	Universidad Técnica de Babahoyo	<a href="http://www.utb.edu.ec">http://www.utb.edu.ec</a>	4.9	23	4	5	7	16			
43	Universidad Tecnológica Israel	<a href="http://uisrael.edu.ec/carreras">http://uisrael.edu.ec/carreras</a>	5.7	21	2	4	5	11			
44	Universidad Estatal Península de Santa Elena	<a href="http://www.upse.edu.ec/ind">http://www.upse.edu.ec/ind</a>	6.5	16	4	2	2	8			
45	Universidad Particular San Gregorio de Portoviejo	<a href="http://www.sangregorio.edu">http://www.sangregorio.edu</a>	3.8	26	5	8	8	21			
46	Universidad Tecnológica ECOTEC	<a href="http://www.ecotec.edu.ec/fa">http://www.ecotec.edu.ec/fa</a>	4.5	20	3	4	7	14			
47	Universidad Técnica de Cotopaxi	<a href="http://www.utc.edu.ec/">http://www.utc.edu.ec/</a>	4.3	21	6	4	6	16			
<b>Total:</b>						129	209	269	607		
Promedio:						5.0	21.3	3.0	4.8	6.1	13.8
Número máximo:						7.9	27.0	6.0	9.0	11.0	22.0
Número mínimo:						2.7	14.0	1.0	1.0	2.0	4.0
Media:						5.2	21.5	3.0	5.0	6.0	14.0
% Páginas web evaluadas:						94%					

TABLA II. RESULTADOS ACCESIBILIDAD WEB DE LA PÁGINA OFERTA ACADÉMICA DE LAS UNIVERSIDADES CATEGORÍAS A, B Y C.

Num.	Categoría A	Página web evaluada	Puntaje	Num. pruebas	Regul ar	Mal	Muy Mal	Total errores	
1	Escuela Politécnica Nacional	<a href="http://www.epn.edu.ec/">http://www.epn.edu.ec/</a>	4.6	25	3	7	8	18	
2	Escuela Superior Politécnica del Litoral	<a href="http://www.espol.edu.ec/">http://www.espol.edu.ec/</a>	6.7	14	2	4	0	6	
3	Universidad San Francisco de Quito	<a href="http://www.usfq.edu.ec/P">http://www.usfq.edu.ec/P</a>	6.8	14	0	2	4	6	
4	Universidad de Cuenca	<a href="http://www.ucuenca.edu">http://www.ucuenca.edu</a>	7.2	16	2	2	3	7	
5	Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)	<a href="http://www.espe.edu.ec/p">http://www.espe.edu.ec/p</a>	2.9	21	2	7	9	18	
6	Universidad de Especialidades Espíritu Santo	<a href="http://uees.me/">http://uees.me/</a>	7.2	19	3	2	2	7	
7	Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales	<a href="https://www.flacso.edu.e">https://www.flacso.edu.e</a>			No es posible analizar con eXaminator				
8	Universidad Andina Simón Bolívar	<a href="http://www.uasb.edu.ec/">http://www.uasb.edu.ec/</a>	5.0	20	1	6	6	13	
	<b>Categoría B</b>								
9	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	<a href="https://www.espoch.edu.e">https://www.espoch.edu.e</a>			No es posible analizar con eXaminator				
10	Pontificia Universidad Católica del Ecuador	<a href="http://www.puce.edu.ec/p">http://www.puce.edu.ec/p</a>	3.5	20	3	7	6	16	
11	Universidad Casa Grande	<a href="http://www.casagrande.e">http://www.casagrande.e</a>			Información presentada en la página principal				
12	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	<a href="http://www2.ucsg.edu.ec/">http://www2.ucsg.edu.ec/</a>			Información presentada en la página principal				
13	Universidad Central del Ecuador	<a href="http://www.uce.edu.ec/">http://www.uce.edu.ec/</a>			Información presentada en la página principal				
14	Universidad del Azuay	<a href="http://www.uazuay.edu.e">http://www.uazuay.edu.e</a>	3.7	16	3	8	3	14	
15	Universidad Estatal de Milagro	<a href="http://www.unemi.edu.ec">http://www.unemi.edu.ec</a>			Información presentada en la página principal				
16	Universidad Nacional de Loja	<a href="http://unl.edu.ec">http://unl.edu.ec</a>			Información presentada en la página principal				
17	Universidad Particular Internacional SEK	<a href="https://www.uisek.edu.ec">https://www.uisek.edu.ec</a>	6.3	14	1	2	4	7	
18	Universidad Politécnica Salesiana	<a href="http://www.ups.edu.ec/">http://www.ups.edu.ec/</a>	5.8	22	3	0	10	13	
19	Universidad Técnica de Ambato	<a href="http://www.uta.edu.ec/v3">http://www.uta.edu.ec/v3</a>			Información presentada en la página principal				
20	Universidad Técnica del Norte	<a href="http://www.utn.edu.ec/we">http://www.utn.edu.ec/we</a>	5.0	24	3	7	6	16	
21	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	<a href="http://www.uteq.edu.ec/">http://www.uteq.edu.ec/</a>	4.3	18	1	3	7	11	
22	Universidad Técnica Particular de Loja	<a href="http://www.utpl.edu.ec/">http://www.utpl.edu.ec/</a>	5.6	18	3	5	3	11	
23	Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil	<a href="http://www.uteg.edu.ec/">http://www.uteg.edu.ec/</a>	5.1	16	0	6	3	9	
24	Universidad Tecnológica Equinoccial	<a href="http://www.ute.edu.ec/in">http://www.ute.edu.ec/in</a>	3.7	20	2	5	8	15	
25	Universidad Tecnológica Indoamérica	<a href="http://www.uti.edu.ec/">http://www.uti.edu.ec/</a>	5.1	24	4	4	6	14	
26	Universidad de los Hemisferios	<a href="https://www.uhemisferios">https://www.uhemisferios</a>			No es posible analizar con eXaminator				
27	Universidad Estatal Amazónica	<a href="http://www.uea.edu.ec/">http://www.uea.edu.ec/</a>	4.4	20	3	4	8	15	
28	Universidad Politécnica del Carchi	<a href="http://www.uppec.edu.ec/">http://www.uppec.edu.ec/</a>			Información presentada en la página principal				
29	Universidad Iberoamericana	<a href="http://www.unibe.edu.ec/">http://www.unibe.edu.ec/</a>	6.5	14	1	3	3	7	
30	Universidad Técnica de Manabí	<a href="http://www.utm.edu.ec/">http://www.utm.edu.ec/</a>			Información presentada en la página principal				
31	Universidad de las Américas	<a href="http://www.udla.edu.ec/">http://www.udla.edu.ec/</a>	5.8	19	1	6	3	10	
32	Universidad Internacional del Ecuador	<a href="http://uide.edu.ec/">http://uide.edu.ec/</a>	5.0	18	2	5	5	12	
33	Instituto de Altos Estudios Nacionales	<a href="http://www.iaen.edu.ec">http://www.iaen.edu.ec</a>			Información presentada en la página principal				
	<b>Categoría C</b>								
34	Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí	<a href="http://espam.edu.ec">http://espam.edu.ec</a>	4.7	11	0	4	4	8	
35	Universidad de Especialidades Turísticas	<a href="http://www.udet.edu.ec/i">http://www.udet.edu.ec/i</a>	5.3	20	3	4	5	12	
36	Universidad del Pacífico Escuela de Negocios	<a href="http://upacifico.edu.ec/we">http://upacifico.edu.ec/we</a>			Información presentada en la página principal				
37	Universidad Estatal de Bolívar	<a href="http://www.ueb.edu.ec">http://www.ueb.edu.ec</a>			Información presentada en la página principal				
38	Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	<a href="http://www.ulvr.edu.ec">http://www.ulvr.edu.ec</a>	3.8	21	2	6	8	16	
39	Universidad Metropolitana	<a href="http://umet.edu.ec">http://umet.edu.ec</a>	5.0	24	4	6	6	16	
40	Universidad Nacional del Chimborazo	<a href="http://www.unach.edu.ec">http://www.unach.edu.ec</a>	4.2	25	5	7	7	19	
41	Universidad Regional Autónoma de los Andes	<a href="http://www.uniandes.edu">http://www.uniandes.edu</a>	6.2	20	3	3	5	11	
42	Universidad Técnica de Babahoyo	<a href="http://www.utb.edu.ec">http://www.utb.edu.ec</a>			Información presentada en la página principal				
43	Universidad Tecnológica Israel	<a href="http://uisrael.edu.ec">http://uisrael.edu.ec</a>	5.7	20	2	4	5	11	
44	Universidad Estatal Península de Santa Elena	<a href="http://www.upse.edu.ec">http://www.upse.edu.ec</a>	6.2	18	5	2	3	10	
45	Universidad Particular San Gregorio de Portoviejo	<a href="http://www.sangregorio.e">http://www.sangregorio.e</a>	3.7	24	4	6	9	19	
46	Universidad Tecnológica ECOTEC	<a href="http://www.ecotec.edu.ec">http://www.ecotec.edu.ec</a>	4.5	17	4	3	5	12	
47	Universidad Técnica de Cotopaxi	<a href="http://www.utc.edu.ec">http://www.utc.edu.ec</a>			Información presentada en la página principal				
					Total:	75	140	164	379
	Promedio:		5.1	19.1	2.5	4.5	5.3	12.2	
	Número máximo:		7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	
	Número mínimo:		2.9	11.0	0.0	0.0	0.0	6.0	
	Media:		5.0	20.0	3.0	4.0	5.0	12.0	
	% Páginas web evaluadas:		65%						

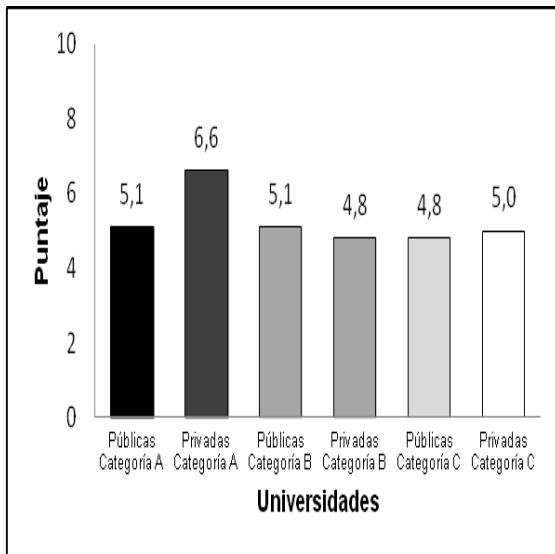


Fig. 1. Puntaje promedio de accesibilidad de la página web principal de las universidades categorías A, B y C.

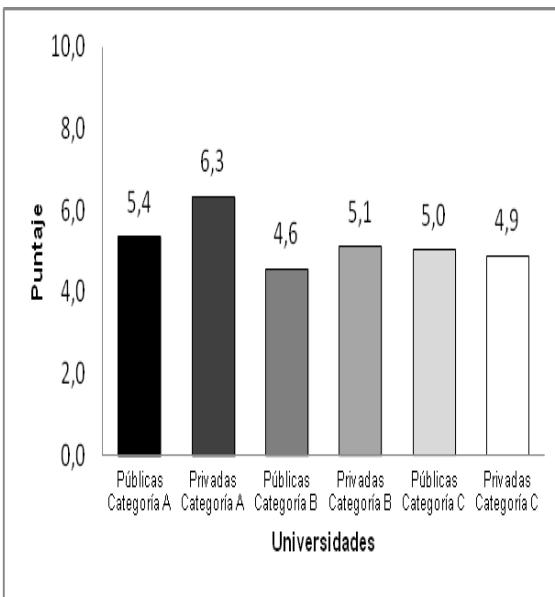


Fig. 2. Puntaje promedio de accesibilidad de la página oferta académica de las universidades categorías A, B y C.

Con respecto al número total de errores identificados al analizar las dos páginas web se tiene que son 55. El número de elementos o casos totales que presentan estos errores son 8.970.

Los 30 errores más frecuentes que se han identificado en este estudio, fueron clasificados de acuerdo al juicio de valor (muy mal, mal y regular). Estos errores de accesibilidad web ordenados de mayor a menos frecuencia se muestran en la Tabla III.

TABLA III. CLASIFICACIÓN DE ERRORES MÁS FRECUENTES Y NÚMERO DE CASOS

Num.	Muy Mal	Num. de páginas que contienen el error	Num. de elementos o casos que presentan
1	Enlaces con el mismo texto pero diferentes destinos.	73	1883
	Elementos o atributos HTML para controlar la presentación del texto.	52	759
2	Enlaces cuyo contenido es sólo una imagen sin alternativa textual.	51	559
3	Se especifican valores absolutos para el tamaño de las fuentes.	51	493
4	Elementos o atributos HTML para controlar la presentación del texto.	52	759
5	Controles de formulario sin etiquetas asociadas ni atributo title.	35	54
6	Elemento iframe sin title.	34	44
7	Tablas sin celdas de encabezados.	29	236
8	Formulario sin un botón de envío.	25	28
9	Se usa texto justificado en las CSS.	24	156
10	Imágenes con el atributo alt nulo.	22	382
<b>Mal</b>			
1	El primer enlace de la página no lleva al contenido principal de la página.	69	69
2	No existen enlaces para saltar bloques de contenido.	49	49
3	Los encabezados no están anidados correctamente.	46	80
4	Imagen sin alternativas textuales.	42	513
5	Imagen sin alternativa textual.	27	513
6	Valores repetidos en los atributos id.	23	201
7	Falta el código de idioma en el atributo xml:lang.	17	17
8	Tablas que contienen una o más tablas anidadas.	12	86
9	No se usan encabezados en la página.	12	12
10	Encabezado cuyo contenido es sólo una imagen sin alternativa textual.	4	6
<b>Regular</b>			
1	De reglas CSS que no especifican los colores de primer plano y fondo a la vez.	60	1259
	Se usa medidas absolutas para indicar el ancho de un elemento.	46	329
2	El atributo title de un enlace sólo repite el texto del enlace.	33	418
3	Se usa medidas absolutas en atributos HTML	28	202
4	Falta el encabezado principal de la página.	25	25
5	Atributos para controlar la presentación visual.	18	465
6	Elemento para controlar la presentación visual.	9	27
7	El tipo de documento no admite el atributo xml:lang	6	6
8	Combinación de color cuya relación de contraste es menor a 3:1.	4	11
9	Imagen(es) con más de 100 caracteres en el atributo alt.	2	3
10	Elemento fieldset sin descripción.	2	2

#### IV. DISCUSIÓN

Se realizó la evaluación de dos páginas web de las 44 universidades del Ecuador ubicadas en las categorías A, B y C de acuerdo con la clasificación del CEAACES. Esta evaluación se realizó con la herramienta en línea eXaminer.

Como resultado de la evaluación se puede observar que no existe una diferencia significativa con respecto al puntaje de accesibilidad web de las páginas principal y oferta académica de las universidades analizadas. El puntaje promedio general alcanzado es de 5.0/10. Este puntaje refleja el poco interés o conocimiento que tienen las IES, con respecto a las directrices de accesibilidad web que deben cumplir obligatoriamente las IES, como los beneficios sociales y económicos que producen los sitios web accesibles.

El error más común clasificado como Muy Mal es: “Enlaces con el mismo texto pero diferentes destinos”, el cual constituye un fallo con respecto al criterio de conformidad 2.4.9 (propósito de un vínculo), nivel AAA, el cual generalmente se produce cuando se tienen enlace como “pinche aquí” o “más información”. Enlaces que carecen de texto para entender su propósito. Para las personas que usan lectores de pantalla este tipo de enlaces causan inconvenientes ante la presencia de varios de estos elementos que carecen de una descripción de los mismos.

El error más común clasificado como Mal es: “El primer enlace de la página no lleva al contenido principal de la página”, el cual constituye un fallo en el criterio de conformidad 2.4.1 (saltar bloques), nivel A. El objetivo es evitar bloques de material que se repiten en varias páginas saltando directamente al contenido principal de la página. Se recomienda que el primer elemento interactivo de la página sea un enlace que, al activarlo, mueva el foco hasta el contenido principal. De la misma manera se recomienda que los enlaces sean visibles en todo momento.

El error más común clasificado como Regular es: “De reglas CSS que no especifican los colores de primer plano y fondo a la vez”. Este error constituye un fallos de los criterios de conformidad 1.4.3 (contraste mínimo) nivel AA, 1.4.6 (Contraste mejorado) nivel AAA y 1.4.8 (Presentación visual) nivel AAA, debido a que se especifican colores del frente sin especificar colores de fondo o viceversa.

Los usuarios con problemas lenguaje y aprendizaje, pérdida de visión o capacidad cognitiva, generalmente prefieren combinaciones específicas de colores de primer plano y de fondo de tal manera que les facilitan ver la página. Cuando se especifica un color de texto en primer plano, entonces debe especificar también un color de fondo que tenga suficiente contraste con el primer plano y viceversa. Se recomienda que ambos colores se encuentren definidos en la misma regla CSS.

#### V. CONCLUSIONES

Si bien es cierto que las herramientas de evaluación automática pueden ayudar a identificar errores en el diseño e implementación de la accesibilidad de los sitios web, se recomienda que las páginas web también sean analizadas

manualmente por expertos en accesibilidad web, con el fin de obtener resultados más precisos.

De los resultados se puede concluir que existe poco interés o falta de conocimiento de las IES, sobre el cumplimiento de las directrices de accesibilidad web en los sitios web de sus instituciones, ya que el puntaje promedio alcanzado en la evaluación es 5,0/10.0. El puntaje promedio no varía significativamente si revisamos los puntajes obtenidos en las páginas web de las 44 universidades analizadas, pero se puede observar que las universidades particulares tienen un puntaje mayor que las públicas, el cual es realmente mínimo.

Se recomienda que las instituciones tomen la decisión de mejorar o rediseñar sus sitios web, considerando las recomendaciones de accesibilidad propuestas en la norma ecuatoriana NTE INEN-ISO/IEC 40500, ya que solo incorporando estos criterios podremos disponer de sitios web más inclusivos, y brindar igualdad de oportunidades a todas las personas.

#### REFERENCIAS

- [1] World Wide Web Consortium, 2016. [En línea]. Available: <https://www.w3.org/People/>.
- [2] S. Luján-Mora, «Web Accessibility Among the Countries of the European Union: a Comparative Study,» *Actual Problems of Computer Science*, pp. 18-27, 2013.
- [3] Organización de Naciones Unidas, «Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.un.org/development/desa/disabilities-es/convencion-sobre-los-derechos-de-las-personas-con-discapacidad-2.html>.
- [4] Consejo de Evaluación Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, «CEAACES,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ceaaees.gob.ec/>. [Último acceso: 8 Junio 2016].
- [5] S. Luján Mora, «Accesibilidad Web,» s.f.. [En línea]. Available: <http://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=ecuador>. [Último acceso: 6 Junio 2016].
- [6] Ministerio de Industrias y Productividad, 2016. [En línea]. Available: <http://www.normalizacion.gob.ec/>. [Último acceso: 8 Mayo 2016].
- [7] World Wide Web Consortium, «Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0,» 11 Diciembre 2008. [En línea]. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG20/>. [Último acceso: 12 Marzo 2016].
- [8] R. Navarrete y S. Luján-Mora, «Accesibilidad web en las Universidades del Ecuador. Análisis preliminar,» *Revista Politécnica*, vol. 33, n° 1, pp. 156-163, 2014.
- [9] P. Acosta-Vargas, S. Luján-Mora y L. Salvador-Ullauri, «Evaluación de la accesibilidad de las páginas web de las universidades ecuatorianas,» *Revista Congreso de Ciencia y Tecnología*, vol. 11, pp. 181-187, 2016.

- [10] M. A. Lopes Sanches y L. Simão Oliveira, «Accessibility Study in Sites of Public Higher Education Institution in Brazil,» de *Advances in Information Systems and Technologies*, vol. 206, Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 1087-1094.
- [11] R. Ringlaben, M. Bray y A. Packard, «Accessibility of American University Special Education Departments' Web sites,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 13, nº 2, pp. 249-254, Junio 2014.
- [12] K.-R. Noh, E.-S. Jeong, Y.-B. You, S.-J. Moon y M.-B. Kang, «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*, Diciembre 2015.
- [13] H. Al-Khalifa, «The accessibility of Saudi Arabia government Web sites: an exploratory study,» *Universal Access in the Information Society*, vol. 11, nº 2, pp. 201-210, 2012.
- [14] R. Ismailova y G. Kimsanova, «Universities of the Kyrgyz Republic on the Web: accessibility and usability,» *Universal Access in the Information Society*, 24 Junio 2016.
- [15] S. Luján-Mora, «Herramientas de revisión automática de la accesibilidad web,» s.f.. [En línea]. Available: <http://accesibilidadweb.dlsi.ua.es/?menu=hr-revision-automaticas>. [Último acceso: 5 Junio 2016].
- [16] C. Benavídez, «eXaminator,» Abril 2015. [En línea]. Available: <http://examinator.ws/>. [Último acceso: 16 Julio 2016].
- [17] C. Benavídez, «Libro blanco de eXaminator,» 2012. [En línea]. Available: [http://examinator.ws/info/libro\\_blanco\\_examinator.pdf](http://examinator.ws/info/libro_blanco_examinator.pdf). [Último acceso: 13 Julio 2016].

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

## *Implementation of a fuzzy relational database. Case study: academic tutoring*

Saguay Chafla Ciro Napoleon  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 UTE  
 Quito, Ecuador  
[csaguay@ute.edu.ec](mailto:csaguay@ute.edu.ec)

Rodrigo Arturo Proaño Escalante  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 UTE  
 Quito-Ecuador  
[rodrigo.proano@ute.edu.ec](mailto:rodrigo.proano@ute.edu.ec)

Segundo Bolívar Jácome Canchig  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 UTE  
 Quito, Ecuador  
[sbolivar.jacome@ute.edu.ec](mailto:sbolivar.jacome@ute.edu.ec)

Carolina Denisse Aguirre Pinto  
 SoftConsulting  
 Quito, Ecuador  
[carolina\\_aguirre87@outlook.com](mailto:carolina_aguirre87@outlook.com)

*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 este desarrollo se utilizó como metodología la arquitectura ANSI-SPARC de bases de datos, la misma que para la creación de la base 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 y se realizaron pruebas con el uso de SQL-Server.

*Palabras Clave - Bases de datos relacional difusas; Implementación de bases de datos relacional difusa, lógica difusa.*

*Abstract* — This article describes the process of implementation of fuzzy relational data base for the case study of academic tutoring, of the Faculty of Engineering Sciences of the Universidad Tecnologica Equinoccial (UTE)

For this development was used as methodology the ANSI-SPARC architecture database, the same as for creating the base abstracts the tiered, at the outer level functional requirements was obtained, at the conceptual level the model was obtained

relational fuzzy, to achieve this model the transformation of fuzzy data was performed through mathematical models using the fuzzy Lookup tool on the physical level based on fuzzy relational database was implemented and tests were performed using SQL-Server .

**Keywords** - Fuzzy relational data bases; Implementation of fuzzy relational data bases, fuzzy logic.

### I. INTRODUCCIÓN

En bases de datos, la lógica difusa es utilizada para extender las bases de datos relacionales (BDR) a difusas (BDRD)[1], 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:  $\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in X$ . [2]

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. [2]

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 [3], 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 [4] 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.

## II. MATERIALES Y MÉTODO

Para el desarrollo e 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 [5], 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 [6], 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. [7]

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:

$$\min \Sigma(y_i - \hat{y}_i)^2$$

Dónde:

$y_i$ = Valor real de la variable dependiente.

$\hat{y}_i$ = 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:

$$\Sigma(y_i - b_0 - b_1 x_i)^2$$

### III. RESULTADOS

Como parte del estudio exploratorio y descriptivo de la tutoría académica se revisó el manual interno de tutorías académicas (SITUTOR) [3], 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 I.

Tabla I. 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 encuentran 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 fig. 1

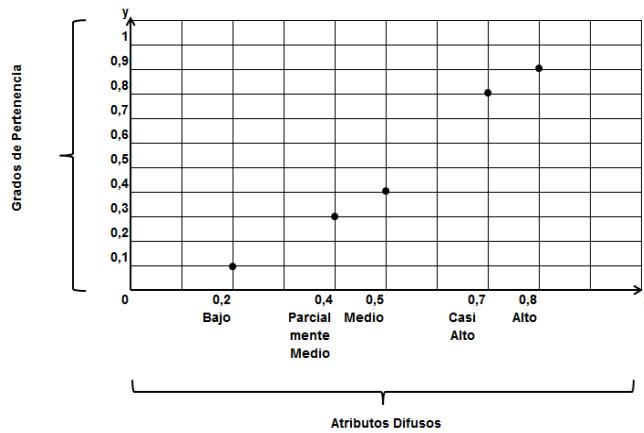


Figura 1. Inferencia Conjunto Difuso 1

**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
	$\Sigma x_i$	$\Sigma y_i$			$\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$\Sigma(x_i - \bar{x})^2$

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

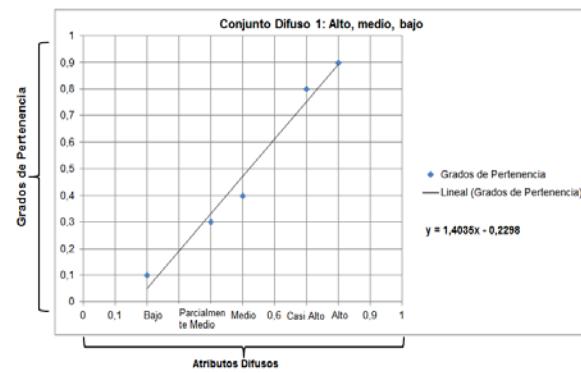


Figura 2. Recta ajustada del Conjunto Difuso 1

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_específicas	Crisp / Difusos
tipo_conocimiento_específico	Crisp
nivel_conocimiento_específico	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.

Debido a la extensión del modelo, no se presenta el esquema final de la base de datos, pero como se mencionó en la tabla 3, el mismo consta de 19 tablas que contienen datos clásicos como difusos, además en la etapa de implementación, se cita como ejemplo el código SQL utilizado para la creación y manipulación de una de las tablas del modelo.

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 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))
```

Se crearon las tablas que alojan datos clásicos, como aquellas que tienen datos 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), como se muestra en la fig. 3.

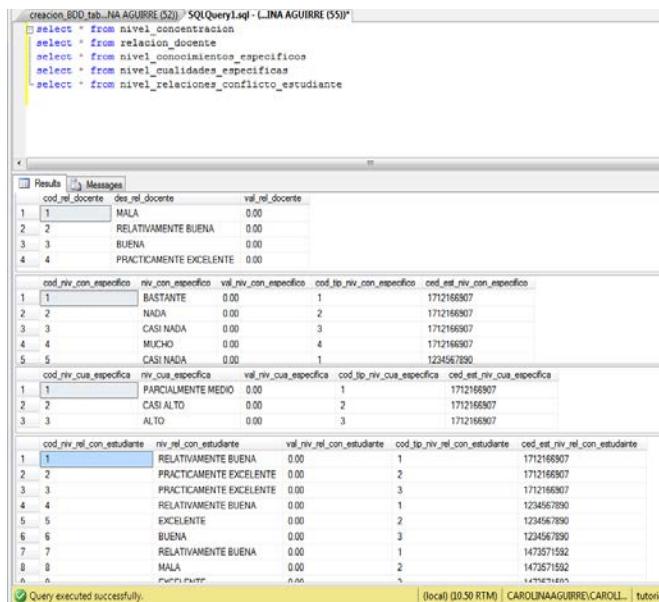


Figura 3. Estado inicial-tablas difusas

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 Fig. 4, 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.

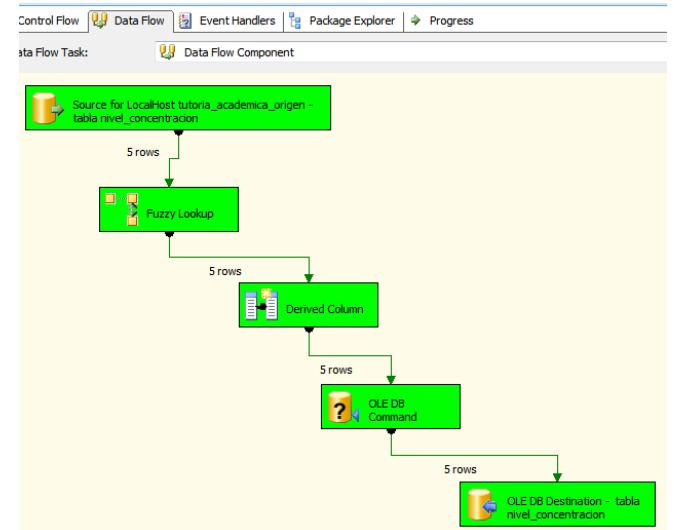


Figura 4. Flujo de transformación difusa

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 fig. 5.

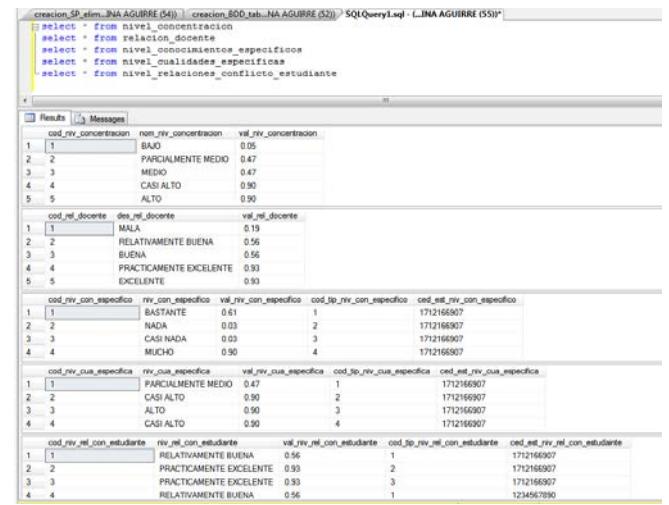


Figura 5. Comprobación de transformación difusa.

En otros sistemas gestores de bases de datos es necesario contar con un servidor FSQL [8] 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
```

#### IV. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

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 identificado, tienen un grado de pertenencia o grado de posibilidad, en SQL Server la herramienta Fuzzy Lookup permite calcular este grado.

La simulación de la imprecisión y la incertidumbre en una base de datos relacional difusa, solo 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]

La herramienta Fuzzy Lookup de SQL Server permite traducir o transformar datos difusos para poder procesarlos como datos clásicos, eliminando la complejidad de otros servidores FSQL que permiten a través de SQL extendido realizar consultas difusas.

#### V. CONCLUSIONES

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.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

- [1] C.D. Barranco, J.R. Campaña, y J.M. Medina, “Towards a Fuzzy Object-Relational Database Model”, 2008, recuperado el 2015, de Information Science Reference: <http://www.infosci-ref.com>.
- [2] I. Pérez, y B. León, “Lógica Difusa para Principiantes - Teoría y Práctica”. Caracas, Universidad Católica Andrés Bello, 2007.
- [3] G. Bravo, G. Roldán, M. Narváez, R. Pastas, L. Hidalgo, C. Saguay, “Sistema de tutoría universitaria-SITUTOR”, UTE, 2012
- [4] Microsoft Developer Network, “Fuzzy Lookup Transformation”, recuperado el 2016 de <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms137786.aspx>
- [5] A. Silberschatz, H. Korth, S. Sudarshan, “Fundamentos de Bases de Datos”, Madrid, España, McGraw-Hill/Interamericana De España, 2002.
- [6] R.M. Cicilia, G.R. Leite, “A fuzzy model for processing and monitoring vital signs in ICU patients”. BioMedical Engineering OnLine, 7, 2011.
- [7] D. Anderson, D. Sweeney, T. Williams, “Estadística para Administración y Economía”, Cengage Learning Editores, México, 2008.
- [8] A. Urrutia, L. Tineo, C. González, “FSQL and SQLF: Towards a standard in fuzzy database”, 2008

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

Vicente Merchán

Departamento de Ciencias de la Computación  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
Sangolquí, Ecuador  
vrmerchan@espe.edu.ec

Rocío Rodríguez

Departamento de Ingeniería e Investigaciones  
Tecnológicas  
Universidad Nacional de La Matanza - UNLaM  
San Justo, Buenos Aires, Argentina  
rocio.rodriguez@unlam.edu.ar

**Abstract**—Nowadays leadership and the style of governing have become one of the quality criteria that challenges to the Government of Technologies and Information Systems (GoTIS) based on the public domain value. In this aspect the excellence models and GoTIS standards play a vital role in the success of the organizations because of 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. Thus, this work has proposed to study them in order to create an evaluation model based on the literature review and experts knowledge; and validating it through the expressed opinion by leaders of technologies and information systems. As a result two sub-criteria, eleven dimensions and five assessment components were obtained. This model will allow GOTIS assess itself as 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

## I. INTRODUCCIÓN

La calidad es por esencia uno de los factores que permite que las organizaciones de tecnologías y de sistemas de información (TSI) se vuelvan competitivas en el entorno actual; para muchas, se ha constituido por décadas en su principal objetivo estratégico debido a que su supervivencia depende de la calidad de servicios que brindan a usuarios internos y externos.

Antes de continuar y para evitar confusiones, utilizaremos el término “TSI” como sinónimo de “TI” o “TIC” basada en la definición del estándar ISO/IEC 38500 [1], que dice: “los recursos necesarios para adquirir, procesar, almacenar y difundir información”.

Según [2], la calidad se define como “Enfoque integral... la calidad, como realidad compleja, debe ser entendida como la armonización integradora de los diferentes elementos componentes: eficacia en el logro de un servicio, bien u objeto excelente, mediante procesos eficientes, satisfactorios tanto para sus destinatarios, directos e indirectos, como para el personal de la organización encargada de lograrlo”. En el sentido definitorio, la revolución científica y cultural de las organizaciones en el siglo XXI demanda un nuevo paradigma, que lo denominan “cultura integradora” [2], porque responde a

una nueva concepción del mundo y de la vida. La cultura integradora recoge aspectos históricos de calidad en búsqueda de una mejor solución a los problemas de las organizaciones en todos sus aspectos. La calidad deja de centrarse en el bien o producto y se convierte en una exigencia de toda la organización a través de quienes la dirigen. El rol de la dirección y la implicación de los empleados se convierten en el factor esencial del cambio.

Desde luego, en el caso del *liderazgo* entendido como un criterio de calidad, se ha escrito sobre la influencia que tiene en este aspecto tanto en lo general como en lo específico y exhaustivo de la temática. Entre ellas: Nwabueza [3], Bäckström [4], Doeelman [5], Ooi [6] y González [7] han realizado estudios de análisis. El *liderazgo* se ha traducido en modelos de excelencia y calidad para la evaluación de organizaciones mediante sub-criterios, dimensiones y componentes de evaluación [8] [9] [10]. De igual manera, se ha traducido en los principios del estándar ISO/IEC 38500 [1] para la evaluación del Gobierno de Tecnologías y de los Sistemas de Información (GoTSI).

Aun cuando la organización, independiente de su criterio de calidad, se dirige, evalúa y controla. El uso de las TSI debería, también, dirigirse y controlarse, bajo el apoyo de un *liderazgo* de GoTSI basada en valor. En este sentido, la orientación que proporciona el estándar ISO/IEC 38500 [11] [12] [1] es adecuada. No obstante, existen trabajos relacionados que demuestran la necesidad de innovar desde la óptica de la evaluación de la calidad en el GoTSI [13] [14].

De acuerdo a la perspectiva, existen criterios de calidad que se encuentran cubiertos por una comprensión completa de los principios del estándar. Sin embargo, estos no constituyen un fin en el cuál se enfoca la norma. En consecuencia, esto permite desarrollar la propuesta de trabajo que revisa los conceptos de “calidad de GoTSI” y principalmente los de *liderazgo* que se proponen en otros trabajos y, proponer en nuestro contexto un conjunto de sub-criterios, dimensiones y componentes que orienten los procesos de evaluación de la calidad de *liderazgo* visto como un criterio. Para la operacionalización de la propuesta se siguió el procedimiento de una investigación por encuesta [15].

Para el cumplimiento del objetivo, se ha estructurado este trabajo en secciones. En la sección II, se describen algunos modelos de evaluación desde el punto de vista conceptual, poniendo énfasis en el *liderazgo*. En la sección III, se propone el modelo de evaluación de *liderazgo* de GoTSI basada en

valor. En la sección IV, se valida la propuesta. Finalmente, en la sección V las conclusiones y trabajos futuros.

## II. MODELOS DE EVALUACIÓN

A continuación se describen algunos modelos de evaluación en el contexto de la calidad:

- **Modelo MBNQA [16]:** Se encarga de evaluar y mejorar el desempeño mediante 7 criterios básicos: *liderazgo*, planificación estratégica, enfoque al cliente y el mercado, información y análisis, el enfoque de los recursos humanos, gestión de procesos y resultados del negocio. El programa otorga un puntaje total de 1000 puntos en la evaluación final. Define el *liderazgo* como el alto rango que guía y mantiene a su organización. Incluye el sistema de gobierno, las responsabilidades éticas, sociales y comunidades claves.
- **Modelo EFQM [17]:** Se encarga de mejorar el rendimiento de la empresa mediante la comprensión de puntos fuertes y débiles que necesitan perfeccionar a través de la evaluación de 5 agentes facilitadores o “criterios” como son: El *liderazgo*, la estrategia, las personas, los proveedores y recursos y, los procesos, productos y servicios; y, 4 agentes de resultados que son: Los clientes, las personas, la sociedad y la clave. Define el *liderazgo* como el rol modelo por su valor y ética, siendo una persona que inspira confianza. Mira el futuro y hace que las cosas pasen. Personas flexibles, permitiendo que la organización se anticipa y reaccione a tiempo para asegurar el éxito de la misma.
- **Modelo Iberoamericano [10]:** El modelo, entre otros ámbitos, se orienta a la administración pública. Se compone en 5 criterios facilitadores y 4 criterios resultados, cada criterio sus respectivos sub-criterios. Los criterios facilitadores son: *Liderazgo* y estilo de gestión, estrategia, desarrollo de las personas, recursos y asociados y, procesos y clientes-ciudadanos. Los criterios resultados son: Clientes-ciudadanos, desarrollo de las personas, sociedad y globales. Todos ellos asignan un puntaje total de 1000 puntos en la evaluación final. Define el *liderazgo* como el proceso de dirigir y orientar las actividades de los miembros de un grupo, influyendo en el para encauzar sus esfuerzos hacia la consecución de una meta o metas específicas.

De manera relevante, existen algunos trabajos de las TSI que han utilizado estos modelos de evaluación con propósitos pertinentes y que ahora se los toma en cuenta. Tal es el caso de Municio [18] quién lideró la creación del modelo de evaluación de la calidad de la educación superior con la definición de variables fundamentadas en las TSI; Sánchez [13] crea dos modelos para evaluar la calidad de GoTSI basados en ITIL y COBIT; Merchán [19] analiza la relación entre el modelo iberoamericano e ISO/IEC 38500.

## III. MODELO DE CALIDAD PROPUESTO

Si no se cuenta con un modelo de evaluación y trabajos relacionados como los descritos anteriormente, sería una ardua tarea determinar el *liderazgo* de GoTSI como un criterio de calidad. Es así que, con base en ésta información, los autores

de este trabajo llevan a cabo un análisis crítico del criterio de *liderazgo* y se propone una descripción de los sub-criterios, dimensiones y componentes de evaluación de la calidad. Los mismos que recibieron sugerencias de expertos. Finalmente, se realizó la validación operativa de la propuesta por un grupo de veinte y siete líderes de TSI que ocupan cargos directivos y/o alto nivel en organizaciones públicas y privadas de Ecuador.

Además, con este trabajo no se trata de buscar solo adopciones y solo adaptaciones a las disfunciones actuales. Lo que se busca es un enfoque de evaluación de la calidad de *liderazgo* de GoTSI para el entorno local en los términos siguientes [14]:

*1) Identificación de principios básicos de calidad sobre los cuales se basa la propuesta:* Un primer principio del *liderazgo* está en el marco de las acciones, el apoyo sistemático y el compromiso del alto directivo con la calidad mediante el proceso o toma de decisiones de GoTSI. En el proceso de gobierno, se formula la estrategia, misión y visión, expresa sus objetivos, aprueba planes y proyectos, organiza recursos, selecciona tecnologías y evalúa los procesos y los resultados. El líder que apoya la calidad lo hace de una forma consciente y coherente. Esto crea una cultura en la que cada acción y decisión está al servicio de la calidad. La medida de evaluación, es el segundo principio de *liderazgo*, que traduce los criterios de valor en elementos de control que puedan ser evaluados en términos de su nivel de cumplimiento.

*2) Modelo de evaluación:* La figura 1 muestra la estructura del modelo de evaluación propuesto, el cual se compone de 2 sub-criterios de calidad: Cultura de excelencia basada en valor y Arquitectura empresarial-TSI basada en valor; y, 11 dimensiones (las cuales serán detalladas más adelante en esta sección).



Fig. 1. Estructura del modelo de evaluación

Cada sub-criterio recoge características de la organización de TSI consideradas necesarias para obtener buenos resultados mediante el criterio de *liderazgo* y estilo de gobierno definido. El contenido de los sub-criterios responde a los principios de calidad descritos en la sub-sección anterior, y recoge la esencia de los principios de los modelos de calidad revisados.

Ambos sub-criterios se definen en función de 11 dimensiones asignadas.

En la figura 2, se aprecia la jerarquía del modelo de evaluación que sirva de guía en la clasificación de sub-criterios, dimensiones y evidencias.



Fig. 2. Jerarquía del modelo de evaluación

El modelo anterior define el Valor en la parte más alta de la jerarquía, actuando como un facilitador que se relaciona directamente en los efectos del negocio. Aquí, el *liderazgo* y sus efectos son coherentes con la percepción de valor que tendrá el negocio. Así mismo, los sub-criterios influyen en la definición de las dimensiones, y éstas a su vez, influencian en las evidencias. Es importante destacar que el modelo de evaluación provee retroalimentación para la calidad de criterio. Las dimensiones están diseñadas para medir el logro de cada uno de los sub-criterios. Las dimensiones tienen la característica de definir los aspectos más significativos de los sub-criterios. Por último, las evidencias, que representan datos cuantitativos o cualitativos, facilitan el juicio de valor sobre el cumplimiento de las dimensiones en el equipo de GoTSI. La Tabla I describe los componentes que integran el criterio de *liderazgo*.

TABLA I. COMPONENTES QUE INTEGRAN EL LIDERAZGO

Sub-criterio	Hace Referencia ...
Cultura de excelencia basada en valor	Al compromiso que tienen los líderes con la cultura de excelencia. Se promueve de manera formal la definición de valores. Se modeliza el papel de la organización, en línea con los principios de servicio, la misión, visión y valores de la organización. Se define política de calidad. Ser activos e implicarse en actividades de mejora, estimulando y alentando la innovación y la creatividad.
Arquitectura empresarial-TSI basada en valor	A las actividades claves de la organización; en especial aquellos que generan mayor valor para el cliente y la misma empresa, área o servicio. Los líderes formalizan el sistema de gestión y los resultados; y, la estructura empresarial para el alineamiento de TSI. La cultura se asienta en la arquitectura empresarial-TSI.

Cada sub-criterio está definido mediante dimensiones que representan aspectos generales de contenido del modelo; éstas a su vez se evalúan por 5 componentes que constituyen las evidencias: Importancia, Difusión, Utilización, Seguimiento y

Valor percibido. Las Tablas II y III muestran las dimensiones y efectos del quinto componente: valor percibido.

TABLA II. CUESTIONES A EVALUAR EN LA CULTURA DE EXCELENCIA

Dimensiones	Efectos desde el valor percibido
1.a. Los líderes, ¿Se implican activa y visiblemente en la definición de valor para la organización?	a. Política de Gobierno de TSI en los resultados de la Gobernanza de TSI
1.b. Los líderes, ¿Se implican activa y visiblemente en la definición y desarrollo de los objetivos estratégicos fundamentales del servicio generador de valor?	b. Misión, visión y valores en los resultados del Gobierno de TSI.
1.c. Los líderes, ¿Actúan como modelos de referencia para el cumplimiento de los objetivos estratégicos fundamentales del servicio generador de valor?	c. Valores empresariales para la integración del negocio.
1.d. Los líderes, ¿Se implican activa y visiblemente en la promoción que estimule y aliente la innovación y creatividad basada en el <i>valor</i> que debe entregar las TSI?	d. Crecimiento de la eficacia y efectividad de cumplimiento de objetivos estratégicos como resultado del Gobierno de TSI.
1.e. La empresa, ¿Tiene una política del gobierno de valor de TSI documentada y comunicada que incorpore criterios de calidad de gobierno, garantizando una información actualizada y transparente?	e. Participación de las personas en la innovación y mejoras y que son aceptadas por el negocio.

TABLA III. CUESTIONES A EVALUAR EN LA ARQUITECTURA EMPRESARIAL-TSI

Dimensiones	Efectos de valor percibido
2.a. Los líderes, ¿Deben involucrarse en la definición del GoTSI, como ejecutivos senior?	
2.b. Los líderes, ¿Deben disponer el establecimiento de comisiones, comités y estructuras de soporte apropiadas capaz de mantener una estructura óptima de coordinación, comunicación y enlace entre la función de TSI y las otras partes interesadas del negocio?	a. Incremento de la comunicación y cooperación entre el equipo de GoTSI y las unidades de negocio.
2.c. Los líderes en el momento oportuno, ¿Evalúan los beneficios que se entregan al negocio?	b. Incremento de la comunicación, la relación y la cooperación interpersonal.
2.d. Los líderes en el momento oportuno, ¿Delegan responsabilidades y velan por el buen cumplimiento de las mismas?	c. Existencia de estructura organizativa para facilitar el gobierno y gestión en la generación de valor.
2.e. Los líderes en el momento oportuno, ¿Toman decisiones importantes que les competen para mejorar el gobierno y donde la gestión del servicio que genere valor en el negocio?	d. Utilización de las TSI como medio de gestión.
2.f. Los líderes, ¿Se aseguran de que se desarrolle e implante un sistema de gobierno, gestión, evaluación y mejora de los procesos generadores de valor de servicio para el negocio?	e. Eficiencia en la gestión de procesos generadores de valor del servicio.

3) *Método de medición y valoración:* La calidad se introduce siguiendo un proceso sistemático jerarquizado para cada sub-criterio. Este proceso permite extraer de manera ordenada, sistemática y consistente, los elementos subjetivos de los evaluadores y luego incorporar elementos cuantitativos en la estimación del valor. En la Tabla IV se muestra la escala general de valoración compuesta por tres niveles jerarquizados e independientes de evaluación que deben ser analizados adecuadamente.

TABLA IV. ESCALA GENERAL DE VALORACIÓN

Jerarquía	Nivel de evaluación	Ponderación
1	Implantación	0,4
2	Aplicación	0,3
3	Efecto	0,3

El primer nivel mide la Implantación del sistema de calidad de GoTSI. La medición de la Implantación se realiza sobre las dimensiones que define a cada sub-criterio. Cada dimensión se mide en función de dos componentes de Implantación: Importancia y Difusión. La Ponderación de la Implantación PIM tiene un valor de 0,4 puntos. El segundo nivel mide la Aplicación del sistema de calidad de GoTSI. La medición de la Aplicación se realiza sobre las dimensiones que define a cada sub-criterio. Cada dimensión se mide en función de dos componentes de Aplicación: Utilización y Seguimiento. La Ponderación de la Aplicación PAP tiene un valor de 0,3 puntos. El tercer nivel recoge la medida de los Efectos del sistema de calidad de GoTSI en función del valor percibido por los accionistas, ejecutivos y/o empleados. La Ponderación del Efecto PEF tiene un valor de 0,3 puntos. Por último, la ponderación asignada a cada nivel responde a un criterio de importancia que éste representa.

Cada dimensión se valora en función de sus componentes y cada componente se valora de acuerdo a una escala de puntuación tipo Likert, con cinco puntuaciones; tal como se muestra en la Tabla V.

TABLA V. ESCALA DE PUNTUACIÓN

Bajo/Pobre	Bajo Promedio	Promedio	Encima Promedio	Alta/Bueno
0,00	0,25	0,5	0,75	1,00

Las ecuaciones (1) y (2) permiten valorar la Importancia I[i] y Difusión D[i], respectivamente; de la *i*-ésima dimensión para un conjunto de *k* evaluadores.

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

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

Donde, *puntuación* de (1) y (2) representa el valor asignado por el evaluador al componente de acuerdo a escala de puntuación.

El nivel de Implantación del sub-criterio IMSC del conjunto de *i* dimensiones se mide a través de (1) y (2), tal como se muestra en (3).

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

Donde, *peso* representa el valor más alto de la escala de puntuación.

Las ecuaciones (4) y (5) permiten medir la Utilización U[i] y Seguimiento S[i], respectivamente; de la *i*-ésima dimensión para un conjunto de *k* evaluadores.

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

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

Donde, *puntuación* de (4) y (5) representa el valor asignado por el evaluador al componente de acuerdo a escala de puntuación.

El nivel de Aplicación del sub-criterio APSC del conjunto de *i* dimensiones se mide a través de (4) y (5), tal como se muestra en (6).

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

Donde, el *peso* de (6) representa el valor más alto de la escala de puntuación.

La ecuación (7) permite medir el Valor Percibido V[i] de la *i*-ésima dimensión para un conjunto de *k* evaluadores.

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

Donde, *puntuación* de (7) representa el valor asignado por el evaluador al componente de acuerdo a escala de puntuación.

El nivel de Efecto del sub-criterio EFSC del conjunto de *i* dimensiones se mide a través de (7), tal como se muestra en (8).

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

Donde, el *peso* de (8) representa el valor más alto de la escala de puntuación.

La ecuación (9) determina la medida total de un sub-criterio SC.

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

Donde, IMSC, APSC y EFSC representan las medidas de implantación, aplicación y efecto del sub-criterio, respectivamente; y, PIM, PAP y PEF representan los valores de ponderación asignados a nivel de implantación, aplicación y efecto, respectivamente.

La ecuación (10) determina la medida total del criterio CR y por ende del sistema de calidad de liderazgo de GoTSI.

$$CR = \sqrt[n]{IMSC_1 * \dots * IMSC_n} * PIM + \\ + \sqrt[n]{APSC_1 * \dots * APSC_n} * PAP +$$

$$+ \sqrt{EFSC_1 * \dots * EFSC_n} * PEF \quad (10)$$

Donde,  $n$  representa el número de sub-criterios asociados al criterio CR.

La medida total del criterio CR será evaluada de acuerdo a parámetros de calidad, los cuales también fueron definidos por expertos líderes de TSI, bajo criterios de pertinencia, sin dejar de lado las adaptaciones que puede realizar cada organización de acuerdo a características específicas. La Tabla VI muestra el nivel de calidad global de *liderazgo* de GoTSI. En el cual se ha definido un rango de medida proporcional entre el número de niveles porque se estima que tienen la misma importancia para quienes evalúan.

TABLA VI. NIVEL DE CALIDAD DE LIDERAZGO

Nivel de calidad	Rango de medida total (%)
Baja calidad	00,00 – 20,00
Media Baja calidad	20,01 – 40,00
Moderada calidad	40,01 – 60,00
Media Elevada calidad	60,01 – 80,00
Elevada calidad	80,01 – 100,00

El proceso de evaluación debe soportarse en el uso de cuestionarios y/o entrevistas, matrices y gráficos para cada sub-criterio, como parte del trabajo del equipo evaluador. No se descarta el uso de herramientas informáticas que favorezcan el proceso de relevamiento de datos de los líderes, evitando en lo posible la influencia de un evaluador y de que éste pueda influenciar en el proceso.

Finalmente, el proceso de autoevaluación sigue tres pasos: Concienciación, Planificación, Ejecución, Lecciones aprendidas e Informe final.

#### IV. OPERACIONALIZACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD PROPUUESTO

Para la validación operativa del modelo se contó con la participación de 27 líderes directivos de TSI adecuadamente escogidos por la naturaleza del proyecto de investigación. Se operó un cuestionario de 15 preguntas: 4 relacionadas con datos demográficos y 11 relacionadas con datos del criterio de *liderazgo*. En la Tabla VII se analizan los datos demográficos de los líderes de TSI seleccionados.

TABLA VII. DATOS DEMOGRÁFICOS DE LOS ENCUESTADOS

Variable	Característica	Valor Absoluto	Valor Relativo
Sector principal	Educación	3	11,1%
	Comercio	2	7,4%
	Servicios	13	48,1%
	Telecomunicaciones	4	14,8%
	Salud	1	3,7%
	Financiero	2	7,4%
	Turismo	0	0,0%
	Otros	2	7,4%
Género	Masculino	21	77,8%
	Femenino	6	22,2%
Escolaridad	Ingeniería	4	14,8%

	Diplomado	2	7,4%
	Maestría	20	74,1%
	Doctorado	1	3,7%
Edad	De 25 a 35 años	6	22,2%
	De 36 a 45 años	16	59,2%
	De 46 a 55 años	4	14,8%
	Mayor de 55 años	1	3,7%
	<b>TOTAL ENCUESTADOS</b>	<b>27</b>	<b>100,0%</b>

Analizando los resultados demográficos se puede observar que el porcentaje de líderes en función del sector principal al cual pertenecen es mayor en servicios con el 48,1%. Esto demuestra que el sector servicios sobresale en el uso de las TSI. El otro dato es género cuya participación mayoritaria es masculina con el 77,8% frente al 22,2% del género femenino. Esta diferencia puede ser circunstancial, aunque no se descarta que efectivamente el género masculino tenga mayor acceso a la tecnología por otros aspectos. La escolaridad de los líderes refleja que la mayoría tiene nivel de maestría con el 74,1%. Por último, está la edad de los líderes, los mismos que en su mayoría se encuentran en el grupo de 36 a 45 años con el 59,2% de participantes.

Por su parte, el apoyo a la creación del modelo de evaluación a través de la importancia de las dimensiones que definen los sub-criterios se pone en evidencia al observar que el porcentaje de importancia (Moderada+Completa) dado a cada una de las dimensiones sobrepasa el 90% a excepción de la dimensión 2.a (Ver figura 3 y 4).

En la figura 3, se presenta la importancia que los líderes brindan a las dimensiones que definen el sub-criterio de cultura de excelencia, por la cual, se observa que las dimensiones con “completa importancia” son la 1.a y 1.b. En estas dimensiones predomina el involucramiento activo de los líderes de TSI en las definiciones de los objetivos estratégicos fundamentales generadores de valor en la organización. Por lo demás, sobresale el porcentaje de “completa importancia” en las otras dimensiones.

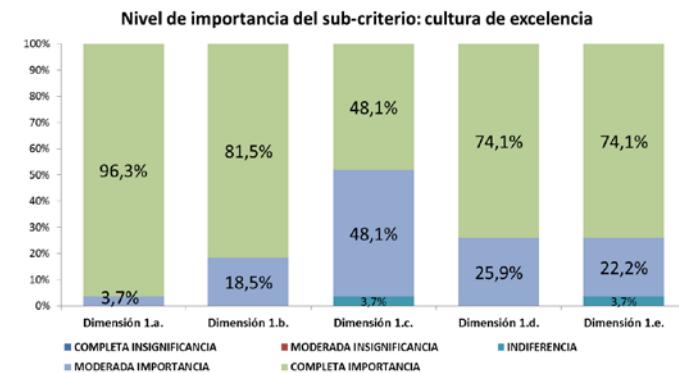


Fig. 3. Nivel de importancia del sub-criterio de cultura de excelencia

En la figura 4, se presenta la importancia que los líderes brindan a las dimensiones que definen el sub-criterio de arquitectura empresarial-TSI, por la cual, se observa que las dimensiones con “completa importancia” son la 2.c y 2.d. En estas dimensiones predomina el seguimiento y control en la entrega de valor en la organización de TSI. Por otro lado, se

debe destacar la variedad en el nivel de importancia que brindan los líderes encuestados a la dimensión 2.a. Según la opinión de expertos, la definición del GoTSI a cargo de los ejecutivos senior pudo haber dado cabida a varias interpretaciones, por ejemplo, la participación del CEO y accionistas que no forman parte precisamente de los ejecutivos senior. En todo caso es un asunto de experiencia de GoTSI. En conclusión, sobresale el porcentaje de “completa importancia” en todas las dimensiones.

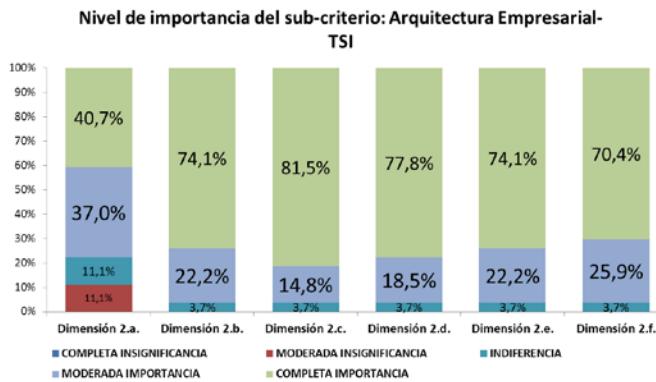


Fig. 4. Nivel de importancia del sub-criterio de arquitectura empresarial-TSI

## V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El presente trabajo se soportó en trabajos relacionados, por lo cual, la premisa que se utilizó en esta propuesta fue la de partir con el *liderazgo* y estilo de gestión como uno de los criterios de calidad que genera efectividad y competitividad a una organización de TSI.

La metodología aplicada en este trabajo se basa en el análisis crítico de *liderazgo* que hacen énfasis los modelos de evaluación y trabajos relacionados, lo que conduce a la definición de 2 sub-criterios, 11 dimensiones y 5 componentes de evaluación. Los mismos que recibieron sugerencias de expertos. Finalmente, se realizó la validación operativa de la propuesta por un grupo de veinte y siete líderes de TSI que ocupan cargos directivos y/o alto nivel en organizaciones públicas y privadas de Ecuador.

A continuación, las principales reflexiones producto del trabajo realizado son:

- La propuesta resalta el *liderazgo* y estilo de gestión como un criterio de calidad con perspectiva de dirección, tal cual es la concepción de los modelos de excelencia que los soporta.
- El criterio de *liderazgo* se destaca por su compromiso con la cultura de excelencia, cuyo desarrollo estratégico se soporta en la arquitectura empresarial-TSI.
- La calidad de *liderazgo* viene dado por un conjunto de sub-criterios y dimensiones; éstas últimas evaluadas por componentes que sobresalen en la importancia de los líderes de TSI investigados.
- En general, sobresale la “completa importancia” que los líderes brindan a las dimensiones 1.a y 1.b, con el

96,3% y 81,5%, respectivamente; aspecto que se explica en el involucramiento activo de los líderes de TSI en las definiciones de los objetivos estratégicos fundamentales generadores de valor en la organización.

- Las dimensiones: 1.c, 1.d y 1.e; sobresalen por el porcentaje promedio de 97% de “completa importancia” y “moderada importancia”, ratificando la participación activa de los líderes en los compromisos del GoTSI.
- La dimensión 2.a llama la atención por las opiniones “divididas”; de todas maneras resalta la mayor importancia con el 77%. Este aspecto puede resultar debido a la diversidad de experiencias en Ecuador sobre GoTSI.
- Las dimensiones: 2.b, 2.c, 2.d, 2.e y 2.f; por su parte demuestran una interesante opinión en donde sobresale la “completa importancia” acerca del comportamiento que deben tener los líderes a través de la toma de decisiones tanto para el control como para el seguimiento del equipo de GoTSI.
- Desde el punto de vista de los resultados, es posible evaluar el *liderazgo* no solo viendo el efecto satisfacción, como de manera común se realiza, si no también viendo el efecto valor percibido.

El proceso de evaluación permite extraer de manera ordenada, sistemática y consistente, los elementos subjetivos de los evaluadores y luego incorporar elementos cuantitativos en la estimación del valor.

Este ejercicio resalta la importancia de ampliar el conjunto de criterios que lo lleve a una solución integral caracterizada por la existencia y entrega de valor, que se ajusten a la necesidad nacional y a la política de la administración pública emanada a través del gobierno nacional; razón por la cual, el siguiente paso de esta investigación se centra en el avance de una definición más completa y sencilla, apalancada en esta metodología de medición y evaluación desde una perspectiva de dirección y/o GoTSI, que será discutido en trabajos futuros.

## AGRADECIMIENTOS

Al apoyo de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de Ecuador (SENESCYT).

## REFERENCIAS

- [1] ISO/IEC 38500, «Corporate Governance of Information Technology Standard,» 11 03 2014. [En línea]. Available: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csn=umber=51639](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csn=umber=51639).
- [2] R. Pérez Juste, F. López Rupérez, M. D. Peralta Ortiz and P. Municio Fernández, "Hacia una educación de calidad. Gestión, Instrumentos y Evaluación," Madrid-España, 2014.
- [3] U. Nwabueze, «Implementing TQM in healthcare: The critical leadership traits,» *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 22, nº 3, pp. 331-343, 2011.
- [4] I. Bäckström, H. Wiklund and P. Ingelsson, "Learning from others to adapt quality management to the future," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 22, no. 2, pp. 187-196, 2011.
- [5] H. J. Doeleman, S. t. Have and K. Ahaus, "The moderating role of

- leadership in the relationship between management control and business excellence," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 23, no. 5-6, pp. 591-611, 2012.
- [6] K.-B. Ooi, «The effectiveness of TQM: A simulator for knowledge distribution?» *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 23, nº 5-6, pp. 653-671, 2012.
- [7] E. L. González Rosas, A. Carrión García and B. Acosta Uribe, "COMPARATIVA CONCEPTUAL DE LOS CRITERIOS DE LIDERAZGO EN MODELOS DE CALIDAD TOTAL," in *Congreso internacional de contaduría, administración e informática*, México D.F., 2014.
- [8] C. Benavides Velasco and C. Quintana García, Gestión del Conocimiento y Calidad Total, Madrid: Díaz de Santos, 2003, pp. 7-10 20-43 49-65 149-150 170 179-181.
- [9] A. M. Martínez-Vilanova y Martínez, "Modelo de Evaluación y Diagnóstico de Excelencia en la Gestión, basado en el Cuadro de Mando Integral y el Modelo EFQM de Excelencia. Aplicación a las Cajas Rurales," Valencia, 2008.
- [10] Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad [FUNDIBEQ], «FUNDIBEQ.» 2015. [En línea]. Available: <http://www.fundibeq.org>. [Último acceso: 2015].
- [11] M. Toomey, "Waltzing with the Elephant: Una guía exhaustiva para la dirección y el control de la tecnología de la información," Infonomics Pty Ltd., 2009.
- [12] A. Fernández Martínez and F. Llorens Largo, Gobierno de las TI para las universidades, Madrid: CRUE, 2012.
- [13] J. J. Sánchez Peña, "Evaluación de la calidad en el ámbito del Gobierno y la Gestión de Servicios de TI," Alcalá de Henares, 2013.
- [14] V. Merchán and R. Rodríguez, "Towards value-based information technology leadership excellence," in *IEEE IICCC 2016*, Popayán, 2016.
- [15] S. L. Pfleeger y B. A. Kitchenham, «Principles of Survey Research part 1: Turning lemons into Lemonade,» *ACM SIGSOFT: Software Engineering Notes*, vol. 26, nº 6, pp. 18-20, 2001.
- [16] BNQP - Baldrige National Quality Program, "Criteria for Performance Excellence," 2015. [Online]. Available: [www.nist.gov](http://www.nist.gov).
- [17] European Foundation for Quality Management [EFQM], «EFQM Excellence Model,» 2013. [En línea]. Available: [http://www.efqm.org/sites/default/files/overview\\_efqm\\_2013\\_v1.pdf](http://www.efqm.org/sites/default/files/overview_efqm_2013_v1.pdf). [Último acceso: 2015].
- [18] P. Municio, «Evaluación de la Calidad de la Educación Superior,» Madrid-España, Red Universitaria de Evaluación de la Calidad, 1998, p. 21.
- [19] V. Merchán and R. Rodríguez, "Análisis de los modelos de Gobierno de Tecnologías de la Información y sus relaciones con el Modelo de Excelencia Iberoamericano," in *XXI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación-CACIC 2015*, Buenos Aires - Argentina, 2015.

# ECU@Risk

Una metodología para la gestión de riesgo aplicada a las MPYMES del Ecuador

A methodology for risk management applied to MSMEs in Ecuador

Esteban Crespo Martínez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Gestión Estratégica de TI, Universidad de Cuenca

<sup>2</sup>Escuela de Sistemas y Telemática, Universidad del Azuay

Cuenca, Ecuador

ecrespo@uazuay.edu.ec

**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 arma para crear ventaja competitiva [21]. 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 [21]. 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.

## I. INTRODUCCIÓN

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 [18], ii) la disponibilidad que indica que la información debe ser utilizable cuando se la requiera [18], y iii) la confidencial porque solo debe ser accedida por los que lo requieren [18]. 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 [19].

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 [20], lo que indica que el acceso a la información deberá ser correctamente controlado, otorgando los permisos a quienes tengan autorización de los propietarios de la información. Para ello, es necesaria una adecuada gestión de los perfiles de usuario y acceso a la misma.

De la indagación exploratoria realizada, no se encuentra alguna 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 ecuatorianas están inmersas en un eminentemente 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. Además, 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. Como validación, se ha realizado un estudio a 50 empresas del sector MPYME en este

país, de las cuales, muy pocas gestionan el riesgo de información, pero de forma elemental.

Con el objetivo de identificar los aspectos relevantes que debe contener una metodología, se hizo hincapié en el estudio de las normativas internacionales ISO utilizadas en la gestión de riesgo informático, el comparativo de cuatro metodologías para la gestión de riesgo informático, y el estudio de los marcos de gobierno de TI y gestión de riesgo COBIT y COSO.

Posterior a la caracterización de las MPYMEs de la región austral del Ecuador en relación con las TI y la seguridad de la información, este trabajo de investigación propone una metodología para la Gestión del Riesgo Informático, que permita aplicarse 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; con el objetivo de desarrollar un adecuado Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI), en base a estudios comparativos de las metodologías y normas internacionales, utilizadas para la gestión de seguridad de la información y el tratamiento del riesgo.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: el apartado 2 contempla los trabajos relacionados, el apartado 3 incluye la sustentación teórica sobre el riesgo y su gestión, en el cuarto apartado se hace referencia al análisis de la situación actual de las MPYMEs en el Ecuador en relación al riesgo informático. Como tema principal, el apartado 5, explica la metodología Ecu@RISK, como herramienta para la gestión del riesgo de información, resultado de esta investigación. En el apartado 6, se incluyen las conclusiones y trabajos futuros.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

El Ministerio de Hacienda de España propone a Magerit en su tercera versión como una metodología aplicable para la gestión de riesgo, sin contemplar herramientas para la identificación del contexto organizacional [7][9]. La Agencia Central de Computadores y Telecomunicaciones – CTTA, autora de la metodología CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method) ha desarrollado una metodología que es considerablemente extensa como para ser aplicada en una organización del sector MPYME, además es de pago y se encuentra disponible únicamente en idioma inglés [4][7].

El autor de OCTAVE-S, la Universidad de Carnegie Mellon, desarrolló esta metodología para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica, contempla en su metodología a las organizaciones pequeñas. Sin embargo, está basada en leyes norteamericanas, poco aplicables en el entorno ecuatoriano [1].

Microsoft Risk Guide, desarrollada por Microsoft es bastante sencilla y puntual, ideal para una MPYME. Sin embargo, tiene un enfoque en seguridad informática, dejando de lado algunos aspectos propios de la seguridad de la información [1][2].

Las metodologías internacionales COBIT 5, y COSO III, utilizadas en la auditoria, la gestión del riesgo de información y el riesgo informático, las cuales son muy extensas y posiblemente poco adaptables al contexto MPYME [16].

Pese a todo, hay que rescatar que todas estas metodologías mencionadas están alineadas a los requerimientos de las normas internacionales ISO 27001, 27002, 27005 y 31000 [1][4][7][16].

Santiago Vásquez y David López autores del trabajo de graduación “Comparación entre las metodologías de gestión de riesgo informático” [1] han abordado la comparación entre las metodologías para gestión de riesgo Microsoft Risk Management y Octave-S, y su alineación con las normativas; por otro lado, Geovanna Cordero, autora del trabajo “Estudio comparativo entre las metodologías MAGERIT y CRAMM, utilizadas para análisis y gestión de riesgos de Seguridad de la Información” [4], aborda la comparación entre esas dos metodologías y su alineación con las normas ISO usadas en la gestión de seguridad y riesgo de información.

Finalmente se puede agregar al esfuerzo realizado por Pablo Minchala en su trabajo de investigación “Estudio comparativo de las metodologías COBIT 5 y COSO III para la gestión del riesgo de TI” [16]. Todos estos trabajos han aportado de forma considerable en la construcción de la metodología propuesta.

Por estas razones, el trabajo realizado consolida estas investigaciones y las resume en una metodología de gestión de riesgo de información, enfocada en las necesidades y situaciones del sector MPYME que se presentan en el contexto nacional.

## III. EL RIESGO Y SU GESTIÓN

Para Germán Alcides, el riesgo informático es un conjunto de normas y procedimientos que son aplicados para salvaguardar un sistema informático, cuya finalidad es garantizar que todos los recursos que conforman el sistema informático sean utilizados para el fin que fueron creados sin ninguna intromisión [3].

La seguridad de la información se fundamenta en tres principios básicos: i) confidencialidad, ii) disponibilidad y iii) integridad; entendiéndose por confidencialidad a los mecanismos que garantizan el acceso a la información a personas y organismos autorizados, por integridad a la consistencia de la información almacenada, y por disponibilidad a la característica de que la información debe estar disponible en el momento que sea requerida.

La información, para cualquier organización, ya sea pública o privada, tiene valor monetario. Las instituciones, organismos y empresas deben preguntarse: ¿Cuánto vale esa información para la organización, y cuánto para la competencia? La información esencial puede ser un objetivo muy atractivo para un tercero, y muchas veces, por descuido o por desconocimiento, la misma puede verse comprometida.

La vulnerabilidad hace referencia a las debilidades que existen en un sistema de información, lo que permite que pueda ser fácilmente atacado, evadiendo el control de acceso y la confidencialidad de los datos y las aplicaciones existentes [4][7], y deben ser expresadas en una escala numérica para luego cuantificar su impacto; en la que Burgos y Campos sugieren que éstas sean identificadas y valoradas individualmente [4][5][7].

Las amenazas son los elementos que pueden dañar o alterar la información de una u otra forma. Generalmente pueden ser encontradas a partir de una vulnerabilidad existente. El riesgo a su vez, es la probabilidad que tiene una amenaza para originarse y que puede generar un cierto impacto en la organización.

Con el objetivo de estandarizar los procesos y actividades para la gestión del riesgo, la Organización Internacional para Estandarización (ISO) agrupa a las mejores prácticas de la industria en la familia ISO 27000, a manera de aconsejar a las organizaciones en el desarrollo, implementación y administración de un sistema de gestión de seguridad de la información o SGSI; y considera además a la familia 31000 para la gestión de riesgos.

#### A. ISO 27001

Para Cordero [4], la ISO 27001 es la norma internacional que describe los procedimientos para gestionar la seguridad de la información en una organización, institución o empresa.

#### B. ISO 27002

Según Crespo y Cordero [7], 2016, ISO 27002 establece directrices y principios generales para la iniciación, implementación, mantenimiento y mejora de la gestión de seguridad de la información en una organización.

#### C. ISO 27005

Esta norma contiene la descripción del know-how para la gestión del riesgo en la seguridad de la información, además de actividades, y directrices a considerar para la gestión de riesgos [4][7].

#### D. ISO 31000

La ISO 31000 es una norma estructurada y sistemática, transparente e inclusiva, que forma parte de la toma de decisiones y está integrada a los procesos de la organización, apoyando a alcanzar su mejora continua.

Para mejorar el tiempo de implementación de una norma internacional, debido a su extensión, existen metodologías basadas en estas, sin ser necesariamente aplicables a los requerimientos del contexto de una organización ecuatoriana.

Una metodología es una parte de la lógica que estudia los métodos, y que, según el diccionario de la Real Academia Española, la palabra metodología hace referencia al “conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal”, pudiendo entenderse como el conjunto de procedimientos que determinan una investigación, ya sea científica o una exposición doctrinal.

Enfocándose en el riesgo informático y el riesgo de tratamiento de la información, se han evaluado las metodologías Magerit, CRAMM, Risk, y Octave-S, como opciones para el tratamiento de riesgo, donde Risk, Octave-S y Magerit son metodologías que están al alcance de cualquier organización de forma gratuita [7][9][10]; acotando que la última versión de Risk fue en el año 2006 [8], y la última actualización de Magerit en el 2013 [6]. Por su simplicidad, cualquiera de estas metodologías podría ser adoptadas por las organizaciones, empresas e instituciones del sector MPYME, especialmente la primera.

Básicamente, cada una de las metodologías descritas anteriormente comprenden cuatro etapas elementales:

1. La primera etapa comprende los activos de información, que incluye las actividades de identificación de activos de información y su valoración cualitativa.
2. La segunda etapa comprende la identificación y categorización de las amenazas físicas, entorno, y las lógicas que podrían afectar a la disponibilidad, confidencialidad o integridad de la información.
3. La tercera etapa es el cálculo del riesgo basado en el impacto que podría ocasionar una amenaza sobre la vulnerabilidad que presenta un activo de información, en la que cada metodología adopta las prácticas de las ISO 27005 e ISO 31000 para realizar tal fin.
4. La cuarta etapa consiste en aplicar mecanismos de mitigación de riesgos, conocidos también como salvaguardas o contramedidas, las cuales deben ser objetivas, realizables y deben estar, sobre todo, alineadas a los requerimientos organizacionales.

El ciclo se cierra con el cálculo del riesgo residual, es decir, una vez que se han identificado las contramedidas, se calcula el impacto del riesgo contra su mitigación. Por ejemplo, si la contramedida ante una amenaza de virus, fue un antivirus; el riesgo residual se presentaría si la herramienta no es actualizada de la forma requerida, quedando aun una probabilidad de que el equipo informático se infecte.

#### IV. SITUACIÓN DE LAS MPYMEs ECUATORIANAS FRENTE AL RIESGO INFORMÁTICO

Partiendo de lo conceptual, el término MPYME hace referencia a las micro, pequeñas y medianas empresas, concepto que según Vásquez y López [1], citando a Muñoz [2], 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 [1] [2].
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 [1] [2].

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 [1] [2].

En una rueda de prensa, el especialista de seguridad informática, Dmitry 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. Ecuador es un blanco fácil para ataques de hackers” [15].

Con el objetivo de evaluar el estado actual de las MPYMEs ecuatorianas en cuanto al riesgo de información, se ha considerado el siguiente grupo MPYME, en un estudio realizado a 50 instituciones de este sector, distribuidos según lo enseña la figura 1:



Figura 1: Sector de actividad económica. Fuente: Resultado de la Investigación.

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.

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.

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

## V. METODOLOGIA ECU@RISK

ECU@Risk, como se ha llamado a la metodología para la gestión de riesgo de información enfocada a las MPYMEs del Ecuador, contempla 4 dominios, representados en la figura 3.

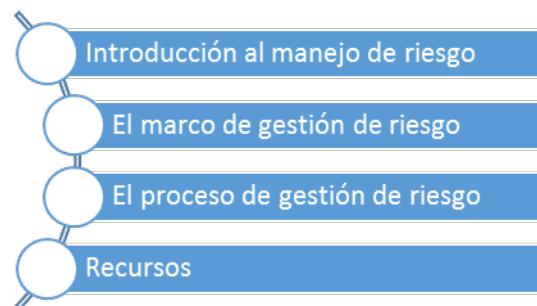


Figura 3: Los dominios de ECU@Risk

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 desciende 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.

#### A. 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.

#### B. 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, (Extraible) 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.

#### C. 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:

1. Identificación de amenazas, para lo cual se proporcionan formatos y lineamientos para su correcta identificación.
2. 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 4: Clasificación de los riesgos organizacionales en Ecuador**

#### D. 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 procesos:

1. 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				
Probabilidad	1. Leve	2. Menor	3. Moderado	4. Alto	5. Extremo	
	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

#### E. 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.

#### F. 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.

#### G. 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	
PG	General 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

#### H. 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:

1. Monitoreo continuo, mediante una política de reporte y monitoreo, en el que los actores fundamentales son el Comité de Riesgos y Auditoría interna.
2. Reportar formalmente, donde la organización se somete a la obligación de informar a cada uno de los interesados (stakeholders) de manera oportuna y transparente.
3. Consideraciones al momento de registrar, como, por ejemplo, las causas, consecuencias y controles actuales.

#### I. 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:

- Reuniones
- Reportes
- Sistemas de comunicación en línea
- Talleres de inducción y capacitación a los empleados
- Noticias

- 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), 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[15][16].

## VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

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.

Las amenazas están latentes, todo sistema de información es vulnerable y la probabilidad de riesgo es inminente dependiendo de su contexto. Sin embargo, pueden presentarse situaciones no controladas o inesperadas; dejando en claro que el riesgo no puede ser mitigado en su totalidad, pero si puede ser controlado.

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; recalmando 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.

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. Esta metodología cuenta con múltiples herramientas propias de la gestión empresarial, como

por ejemplo el análisis PESTEL que sirven para determinar el macro ambiente en el que se desenvuelve la organización; las 7S de McKinsey que permiten identificar el comportamiento organizacional y hacer un análisis interno, que, para este caso, fue de interés el comportamiento humano en cuanto a un estilo de dirección particular y sometido a cierto tipo de sistemas conocidos como políticas y procedimientos.

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. Dado que el gobierno trata acerca de establecer la orientación, la interacción tiene lugar entre las decisiones tomadas por las estructuras de gobierno [17].

Como toda metodología, 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 [13].

ECU@Risk 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. Este documento 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.

Cada empresa, organización, negocio o institución debe estar consciente que la información que se genere en base a esta metodología es de carácter interno, y que no puede ser divulgada sin considerar los principios básicos de la seguridad de la información que han sido tratados en este documento: Confidencialidad, Integridad y Disponibilidad.

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, debe considerar la permanentemente actualización del marco normativo que contiene las políticas de seguridad de la información; y la concienciación y compromiso de la gerencia, pues, como ya se había mencionado anteriormente, la única forma de que un sistema de gestión de seguridad de la información funcione, es cuando la alta dirección o la gerencia general respaldan los compromisos relacionados con el uso de los recursos de información.

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.

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, y por esa razón, tal como lo establece ISACA en su metodología COBIT, son “una interacción entre las decisiones de gobierno (establecer orientaciones) y gestión (ejecutar las decisiones)”.

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.

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.

## VII. REFERENCIAS

- [1] S. Vásquez y D. López, *Estudio comparativo entre las metodologías Microsoft Secure Risk Management y Octave*, Cuenca, Azuay, 2016.
- [2] D. C. M. Muñoz, «*dspace*,» 24 Febrero 2012. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1442/5/Capitulo%202.pdf>.
- [3] G. Alcides, Seguridad informática, Antioquía, Colombia: Universidad de Antioquia, 2009.
- [4] G. Cordero Torres, *Estudio comparativo entre las metodologías MAGERIT y CRAMM, utilizadas para análisis y gestión de riesgos de seguridad de la información.*, Cuenca, Universidad del Azuay, 2015.
- [5] J. Burgos Salazar y P. G. Campos, *Modelo Para Seguridad de la Información en TIC*, Concepción: Universidad del Bío-Bío, 2008.
- [6] P. Castaño, «Metodología de Análisis de Riesgos: MAGERIT,» 7 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <http://blacksecurity.net/Gr2Dest/metodologia-de-analisis-de-riesgos-magerit/>.
- [7] E. Crespo y G. Cordero, « Estudio comparativo de las tecnologías MAGERIT y CRAMM, utilizadas para análisis y gestión de riesgos de seguridad de la información,» *Utopía*, pp. 24-27, 2016.
- [8] «Microsoft,» 15 Octubre 2006. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/spain/technet/recursos/articulos/srsgch01.mspx>.
- [9] Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas de España, *Magerit 3*, Madrid, 2012.
- [10] Z. Yazar, *A qualitative risk analysis and management tool – CRAMM*, SANS Institute, 2002, p. 6.
- [11] C. Borghello, «Seguridad de la Información - Segu.Info,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.segu-info.com.ar/delitos/delitos.htm>.
- [12] J. Cano, *Computación Forense: Descubriendo los rastros informáticos*, México: Alfaomega, 2009.
- [13] J. García Falconí, «Revista judicial,» 07 02 2011. [En línea]. Available: <http://www.derechoecuador.com/articulos/detalle/archive/doctrinas/derechoinformatico/2011/02/07/la-proteccion-de-datos-personales>.
- [14] Superintendencia de Bancos y Seguros, *Resolución JB-2012-2148*, Quito, Pichincha, 2012.
- [15] J. A. Delgado, «Ciberseguridad en Gobernanza de Internet en Ecuador: Infraestructura y acceso,» de *Encuentro Nacional de Gobernanza de Internet, Quito, Ecuador.*, Quito, 2014.
- [16] P. Minchala, *Estudio comparativo de las metodologías COBIT 5 y COSO III para la gestión del riesgo de TI*, Cuenca, Universidad del Azuay, 2016.
- [17] ISACA, *Un Marco de Negocio para el Gobierno y la Gestión de las TI de la Empresa*, Madrid: ISACA® Framework, 2012.
- [18] Á. Gómez, *Enciclopedia de la seguridad informática*, México: Alfa-Omega, 2011.
- [19] D. Calderón, M. Estrella and M. Flores, *Sistema de Gestión de Seguridad de la Información aplicada al área de recursos humanos de la empresa DECEVALE S.A.*, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- [20] Superintendencia de Bancos y Seguros, "Gestión integral y control de riesgos," in *Normas generales para las instituciones del sistema de seguros privados*, Quito, Superintendencia de Bancos y Seguros, 2011, pp. 95 - 107.
- [21] F. Vásquez y J. Gabalán, «Información y ventaja competitiva. Coexistencia exitosa en las organizaciones de vanguardia.,» de *El profesional de la información*, Ebsco, 2015, pp. 149-156.

# Framework de Arquitectura Empresarial con Enfoque Ágil basado en TOGAF

## *Enterprise Architecture Framework with Agile Approach based on TOGAF*

Fanny Mercedes Sandoval Zambrano  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 Quito, Ecuador  
 sandoval@ute.edu.ec

Paúl Leónidas Tutillo Andrade  
 Universidad Central del Ecuador  
 Quito, Ecuador  
 paultutillo@gmail.com

Oswaldo Moscoso Zea  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 Quito, Ecuador  
 omoscoso@ute.edu.ec

Victor Hugo Gálvez  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 Quito, Ecuador  
 vhgalvez@ute.edu.ec

**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 stakeholders apoyen esta iniciativa. Este documento contiene como propuesta el diseño de un framework de AE con 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 y disminución en 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 EA creates value in early stages of the process for the stakeholders to support this initiative. 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 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.

**Keywords**—Enterprise Architecture; TOGAF; ADM; Agile Approach; Enterprise Strategy.

Una organización es competitiva cuando sus componentes fundamentales están bien estructurados y cohesionados entre sí y con el ambiente [1]. 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 impide que estas entidades sean flexibles, ágiles y que no puedan adaptarse rápidamente a los cambios.

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 [2].

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 un mapa conceptual con una visión integral de la organización, permite alinear procesos, datos,

aplicaciones e infraestructura tecnológica con los objetivos estratégicos de la organización [3].

AE también se concibe como una práctica de gestión continua dentro de la organización con objetivos bien definidos. 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 [4]. Cada framework tiene su propia estructura, estrategia y modelos de AE.

El objetivo del presente trabajo es presentar un enfoque para diseñar un framework de AE con enfoque ágil basado en TOGAF. TOGAF, es un acrónimo de "The Open Group Architecture Framework", desarrollado por los miembros de Open Group. 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 [5].

## II. 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

TOGAF Se basa en un modelo iterativo respaldado por las mejores prácticas y un conjunto reutilizable de activos arquitectónicos existentes [6], 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.

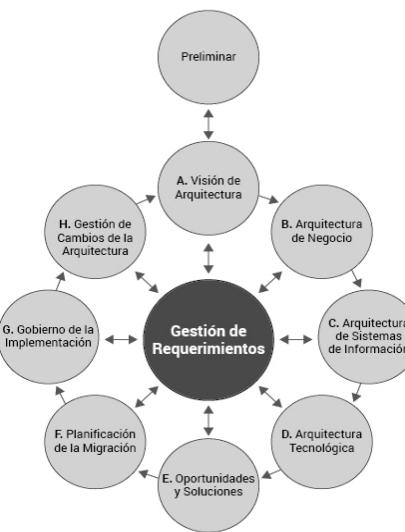


Figura 2: Guía de bolsillo TOGAF V. 9.1.1 [6]

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,

### III. ENFOQUE AGIL

Los marcos de trabajo existentes de Arquitectura Empresarial son muy amplios [7]. 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 [8]. 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 [9] (Ver Figura 3). Las características del enfoque ágil son las siguientes:

- 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.

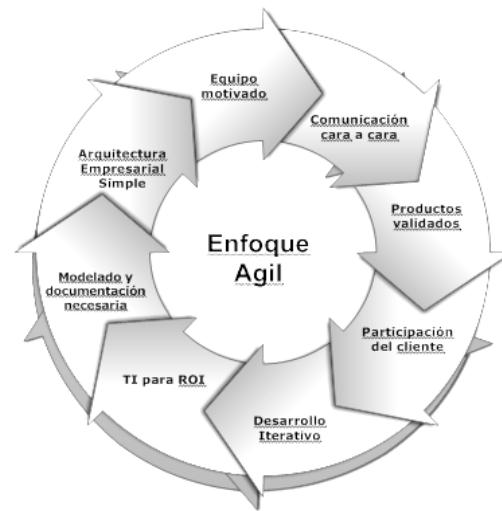


Figura 3 Proceso de Desarrollo Ágil orientado por el modelado

## IV. DISEÑO DEL FRAMEWORK

### A. Primer paso

El diseño del framework comienza con la definición de los requerimientos de los stakeholders de la organización de acuerdo a:

- Los fundamentos del enfoque ágil son aplicados a la AE para que esta se ajuste al modelo del negocio, a la visión de la organización y a las prioridades estratégicas.
- El marco legal de la organización y del ámbito de influencia de la misma.
- La línea destino de la organización la misma que se basa en la misión y visión de la organización.

### B. Segundo paso

Para diseñar el framework se utiliza una matriz de cruce (Tabla 1). En esta 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.
- Establecer aquellas actividades que se deberían realizar para que se perciba el valor de la AE en etapas tempranas.

Tabla 1 Cruce de requerimientos y objetivos específicos de las fases del ADM

		TOGAF – NOMBRE de la FASE – OBJETIVO No X				
Requerimientos		Objetivos específicos				
Enfoque ágil	Interacción					
	Simplicidad					
	Retroalimentación					
	Respuesta al cambio					
	Marco legal					
	Línea Destino					

En la Tabla 2 se ejemplifica el cruce de los requerimientos con los objetivos específicos de “Determinar las Capacidades Arquitectónicas deseadas por la organización”. Este objetivo corresponde a la **Fase Preliminar** del ADM. Aquí se puede observar que los objetivos específicos que no tienen correspondencia se deben eliminar.

Tabla 2 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		
Requerimientos		Objetivos específicos	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 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			
	Línea Destino	Reglamentos internos	Documentación existente	

### C. Tercer paso

En el tercer paso se analiza los entregables de cada fase propuestos por TOGAF para simplificarlos y reducirlos alineándose a lo que dicta el enfoque ágil (ver Tabla 3).

Tabla 3 Análisis de los entregables

DESCRIPCIÓN	ANÁLISIS
<b>1. Marco de Referencia de Arquitectura Adaptado</b>	
Se encarga de adaptar el modelo TOGAF para la integración a la empresa.	El presente proyecto, reformula el framework para ser adaptado.
<b>2. Modelo organizacional de Arquitectura Empresarial</b>	
Define la organización, roles y las responsabilidades apropiadas dentro de la empresa.	Se conserva.
<b>3. Principios de Arquitectura</b>	
Conjunto de reglas generales y guías para la AE en desarrollo	Se conserva ya que constituye los principios que regirán el proyecto.
.	
<b>32. Evaluación del Impacto de los Requerimientos</b>	
Evaluá 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 puede observar en la Tabla 3 se analiza los entregables y como resultado se obtiene que algunos pueden ser omitidos ya que salen del alcance del proyecto (giro del negocio), o porque pueden ser fusionados con otros. En este caso de estudio se reduce de 32 a 19 entregables (Ver Tabla4).

Tabla 4 Resumen de los entregables

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

En el cuarto paso se detalla los objetivos y entregables que se obtuvieron de la simplificación realizada en los pasos anteriores. El resultado de la aplicación del framework como caso de estudio en una institución de educación superior 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

#### V. CONCLUSIONES

El enfoque presentado 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, describe un enfoque 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 de 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, a 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 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.
- El enfoque ágil lo define cada organización dependiendo de su modelo de negocio, no define procedimientos, es un complemento a los métodos existentes.

#### REFERENCIAS

- [1] H. Koontz, H. Weihrich, and M. Cannice, *Administración una Perspectiva Global y Empresarial*, 14ava ed. Mc Graw Hill, 2012.
- [2] Unión Europea Política Regional, “Alcanzar un crecimiento inteligente, sostenible e integrador,” *Panor. Inforegio*, no. Vol. 36, 2011.
- [3] M. Lankhorst, *Enterprise Architecture at Work Modelling Communication and Analysis*, 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [4] E. González and J. Álvarez, “Frameworks de Arquitectura Empresarial,” 2010. [Online]. Available: <https://arquitecturaempresarialcali.wordpress.com/2010/11/16/frameworks-de-arquitectura-empresarial/>. [Accessed: 20-Aug-2016].
- [5] P. S. W. Ambler, “Modelado Ágil ( AM ) Valores Principios Prácticas,” pp. 2001–2002, 2002.
- [6] The Open Group, “TOGAF ® Version 9.1,” 2011. [Online]. Available: <http://goo.gl/djuv15>.
- [7] R. Bricknal, G. Darrell, H. Nilsson, and K. Pessi, “Enterprise Architecture: Critical Factors affecting modelling and management,” 2011. [Online]. Available: [http://pdf.aminer.org/000/245/735/enterprise\\_architecting\\_critical\\_problems.pdf](http://pdf.aminer.org/000/245/735/enterprise_architecting_critical_problems.pdf).
- [8] A. Cady and M. Blom, “Enterprise Modernization,” vol. 7, no. 2, 2003.
- [9] S. Ambler, *Agile Modeling: Effective Practices for eXtreme Programming and the Unified Process*. 2002.

# Modelado matemático, análisis y validación de paralelismo de bancos trifásicos de transformadores con conexión $\Delta Y$

Raúl López

Javier Briones

Carrera de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Politécnica Salesiana  
Guayaquil, Ecuador  
[rlopezor@est.ups.edu.ec](mailto:rlopezor@est.ups.edu.ec)  
[jbrionesy@est.ups.edu.ec](mailto:jbrionesy@est.ups.edu.ec)

Gary Ampuño

Teddy Negrete

Carrera de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Politécnica Salesiana  
Guayaquil, Ecuador  
[gampuno@ups.edu.ec](mailto:gampuno@ups.edu.ec)  
[tnegrete@ups.edu.ec](mailto:tnegrete@ups.edu.ec)

**Resumen—**El siguiente trabajo muestra mediante un modelo matemático el comportamiento en paralelo de dos bancos elevadores trifásicos de conexión Delta ( $d$ ) – Estrella ( $Y$ ), y de cada grupo vectorial que se pueda realizar con este tipo de conexión, tales como: dYN1, dYN5, dYN7, dYN11. Dentro de las ecuaciones diferenciales que componen el modelado matemático existen variables y constantes; las variables son los resultados a obtener en análisis, tales como: corrientes de línea de entrada de la conexión  $d$ , corrientes de línea de la conexión  $Y$  considerando una carga resistiva, y las corrientes de magnetización del núcleo, mientras las constantes necesarias a ingresar en el modelado fueron determinados con base en pruebas, experimentos realizados a seis transformadores monofásicos de dos bancos de prueba, ubicados en el laboratorio de transformadores de la Universidad Politécnica Salesiana. Las pruebas mostradas analizan la conexión dYN11, la cual, es una de las más usadas, las ecuaciones externas de los demás grupos vectoriales se pueden obtener haciendo uso de las ecuaciones de cada bloque en paralelo.

**Palabras claves—**Transformador; Banco trifásico; paralelismo; impedancia.

**Abstract—**This paper outlines the development of a mathematical model the behavior parallel phase two elevators connecting banks Delta ( $d$ ) – Star ( $Y$ ), and each vector group that can be made with this type of connection, such as dYN1, dYN5, dYN7, dYN11. Within the differential equations that make up the mathematical modeling there are variables and constants; the variables are the results obtained from analysis, such as current input line of the  $d$  connection, line currents  $Y$  connection considering a resistive load, and currents magnetizing the core, while the necessary constants to enter modeling were determined based on tests, experiments six single-phase transformers two test benches, located in the laboratory of transformers of the Universidad Politécnica Salesiana. The tests shown analyze the dYN11 connection, which is one of the most used, external equations other vector groups can be obtained using the equations of each block in parallel.

**Keywords—**Transformers; Triphasic Banks; parallelism, impedance.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad varias instalaciones, como hospitales y servicios de distribución de energía, no pueden permitirse

fallar en sus sistemas de alimentación, en especial en sus transformadores de distribución, por ello se utilizan conexiones acopladas para así garantizar siempre el suministro de energía ante la falla de los equipos principales de transformación. En el presente estudio se encuentra el análisis y modelado matemático de paralelismo de bancos trifásicos de transformadores [1], se modela el sistema dYN11, haciendo uso de la herramienta de simulación por software. Para el entendimiento y total percepción del tema se revisaron libros guía, trabajos anteriores, papers y fuentes web. Para obtener los datos de entrada de las ecuaciones, se realiza en cada transformador pruebas de cortocircuito para determinar impedancias serie o pérdidas de los devanados [2], y de circuito abierto para poder determinar la impedancia del ramal de excitación y así establecer las pérdidas del núcleo y la relación de transformación [3]. Se hizo pruebas de polaridad para proceder con la correcta conexión del sistema en paralelo  $\Delta Y$  y a través de equipos de medición se generan las gráficas de corriente en función del tiempo, las mismas que deben ser comparadas con las respuestas gráficas obtenidas por el software [4], [5], [6]. Se conectan en paralelo transformadores debido al incremento de carga y demanda del usuario. Otra utilidad de nuestro sistema es mantener una correcta fiabilidad y continuidad de operación [7]. En [8], [9], [10] se describe como el uso de software para modelar sistemas trifásicos permite realizar sistemas de control para diferentes cargas.

## II. DESCRIPCIÓN

Para los experimentos se emplean 2 módulos de pruebas con seis transformadores monofásicos cada uno de 500 [VA] 120 - 240 [V] para formar bancos trifásicos de conexión Delta-Estrella ( $\Delta Y$ ), ubicados en el laboratorio de transformadores de la Universidad Politécnica Salesiana.

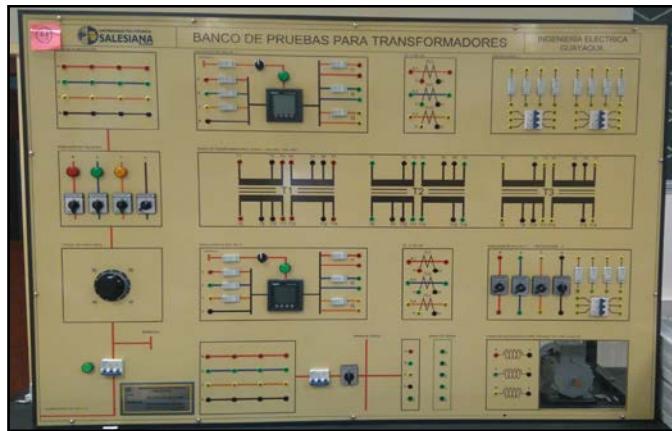


Fig. 1. Banco de prueba para transformadores.

La figura 2 muestra un banco trifásico de carga resistiva variable de 0-100 [Ohm], con una corriente máxima de 2.5A. El equipo de medida que se usa para realizar todas las pruebas es el Fluke 435 series II.



Fig. 2. Banco trifásico resistivo 0-100 [Ohm], 2.5 [A].

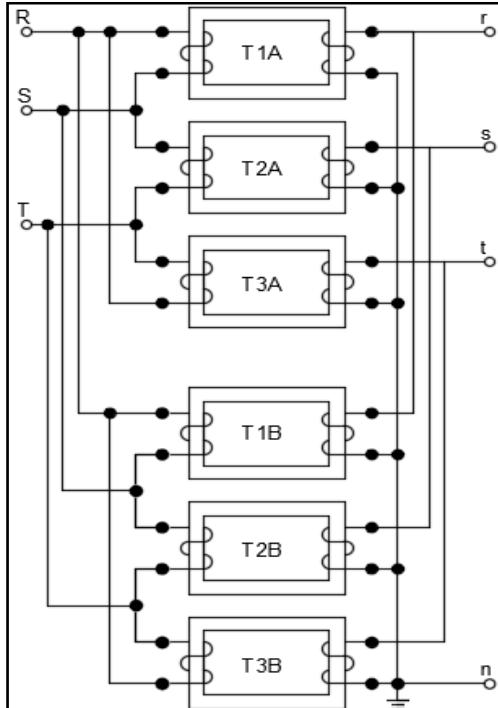


Fig. 3. Paralelismo de bancos trifásicos Delta-Estrella.

**TABLA I.**  
**NOMENCLATURA**

Símbolo	Descripción
$dYN1$	Conexión delta-estrella con neutro y desfasamiento angular primario-secundario 30°.
$dYN5$	Conexión delta-estrella con neutro y desfasamiento angular primario-secundario 150°.
$dYN7$	Conexión delta-estrella con neutro y desfasamiento angular primario-secundario 210°.
$dYN11$	Conexión delta-estrella con neutro y desfasamiento angular primario-secundario 330°
$I_r, I_s, I_t$	Corriente de entrada a los transformadores en paralelo, [A]
$I_{jA}, B, C, D, E, F$	Corriente de sub ramales, [A]
$IT_j$	Corriente total, [A]
$LA', B'$	Flujos de dispersión
$Lmj$	Inductancia mutua
$n$	Neutro
$R, S, T$	Entrada de alimentación trifásica, [V]
$r, s, t$	Salidas de la conexión triásica de transformadores, [V]
$RA', RB'$	Perdidas por efecto Joule.
$Rh_j$	pérdidas en el núcleo
$TjA, B$	Transformadores primer y segundo grupo.
$VI, 3,5$	Voltaje de línea a línea, [V]
$V2, 4,6$	Voltaje de fase, [V]
$\Delta Y$	Sistema trifásico Delta-Estrella.

### III. DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO

El modelado muestra el paralelismo de dos sistemas trifásicos  $dYN11$  acoplados, cuya conexión está representada en la figura 4.

Cada transformador tiene designado un número para este caso  $j$  ( $j = 1..3$ ). La conexión anterior también puede ser analizada como tres paralelos de transformadores monofásicos realizando un banco trifásico, esto, debido a que el devanado primario del transformador  $T1A$  está en paralelo con el devanado primario del  $T1B$  al igual que los devanados de salida de estos transformadores, el siguiente paralelo es el conformado por los transformadores  $T2A$  con  $T2B$  y el último paralelo está definido por el acople de los transformadores  $T3A$  con  $T3B$ .

Es por ello que para simplificar el desarrollo del modelado se analizó el circuito mediante un banco trifásico formado por tres paralelos monofásicos de transformadores, aquello no altera la configuración evidenciada ni tampoco repercute en problemas de conexión o capacidad instalada de transformación, simplemente es otra manera de analizar el sistema. A continuación, en la figura 5 se muestra el circuito

con el cual se desarrolló el modelado y las ecuaciones que definen el comportamiento de este sistema trifásico.

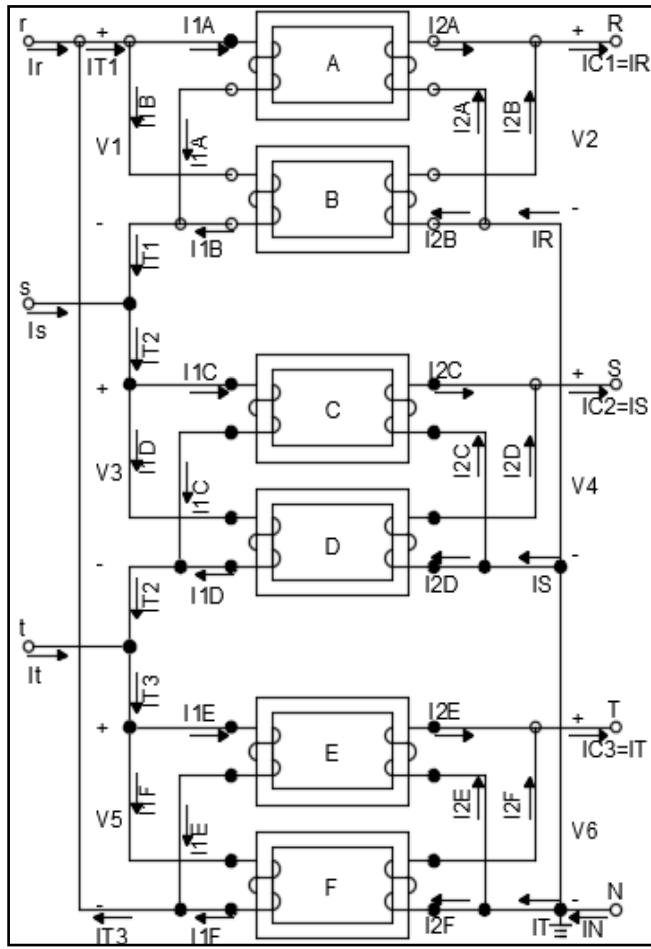


Fig. 4. Conexión Delta-Estrella, índice horario dYN11.

#### IV. MODELADO MATEMÁTICO

Se resuelve el circuito de la figura 2 tomando como base en cada transformador su modelo real, luego acoplándolos en paralelo y alimentando una determinada carga resistiva pura.

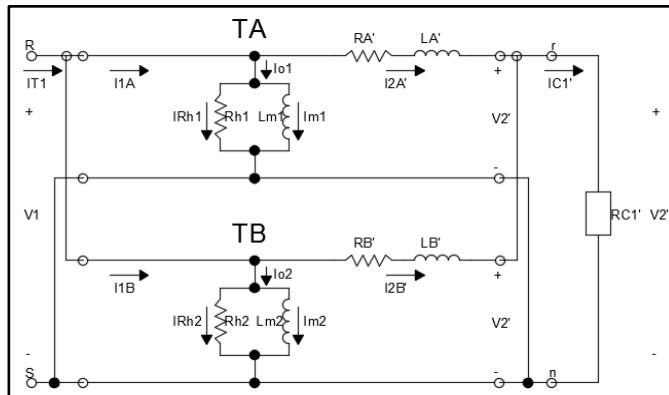


Fig. 5. Transformadores TA y TB trabajando con carga.

Usando leyes de Kirchhoff se obtiene las siguientes ecuaciones diferenciales que definen el modelamiento de este paralelo de transformadores TA-TB de la figura 6:

$$\frac{dV2}{dt} = \frac{RC(V1a LB + V1b LA - RA LB I2A - RB LA I2B - V2 LA - V2 LB)}{LA LB} \quad (1)$$

Donde  $\frac{dV2}{dt}$  representa el voltaje de salida del paralelo TA-TB en el secundario.

$$\frac{dI2A}{dt} = \frac{V1a RC1 - V1b RC1 - RA RC1 I2A + RB RC1 I2B + LB \frac{dV2}{dt}}{RC1 (LA + LB)} \quad (2)$$

Donde  $\frac{dI2A}{dt}$  representa la corriente de salida transformador TA en el secundario.

$$I2A' = \frac{I2A}{rtA}, \quad (3)$$

Donde  $I2A'$  representa la corriente de salida del transformador TA referida al primario

$$\frac{dIm1}{dt} = \frac{RH1}{\lambda n1 m1} (1 + m1^2 Im1^2) (I1A - Im1 - I2A') \quad (4)$$

Donde  $\frac{dIm1}{dt}$  representa la corriente magnetizante TA en el primario.

$$I1A = Im1 + \frac{V1}{RH1} + I2A' \quad (5)$$

Donde  $I1A$  representa la corriente entrada TA en el primario.

$$\frac{dI2B}{dt} = \frac{V1b RC1 - V1a RC1 - RB RC1 I2B + RA RC1 I2A + LA \frac{dV2}{dt}}{RC1 (LA + LB)} \quad (6)$$

Donde  $\frac{dI2B}{dt}$  representa la corriente de salida transformador TB en el secundario.

$$I2B' = \frac{I2B}{rtb}, \quad (7)$$

Donde  $I2B'$  representa la corriente de salida del transformador TB referida al primario

$$\frac{dIm2}{dt} = \frac{RH2}{\lambda n2 m2} (1 + m2^2 Im2^2) (I1B - Im2 - I2B') \quad (8)$$

Donde  $\frac{dIm2}{dt}$  representa la corriente magnetizante TB en el primario.

$$I1B = Im2 + \frac{V1}{RH2} + I2B' \quad (9)$$

Donde  $I1B$  representa la corriente entrada TB en el primario.

$$IC1 = I2A + I2B \quad (10)$$

Donde  $IC1$  representa la corriente que recibe la carga en el secundario del paralelo de transformadores TA-TB

$$IT1 = I1A + I1B \quad (11)$$

Donde  $IT1$  representa la corriente de entrada del paralelo de transformadores TA-TB en el primario.

Estas ecuaciones se repiten para los tres paralelos faltantes TC-TD y TE-TF. Las ecuaciones externas de cada bloque

paralelo como voltajes y corrientes de línea del primario y los voltajes de línea y de fase del secundario de todo el trifásico dYN11 sistema en general son:

$$Vrs = V1 \quad (12)$$

Donde  $Vrs$  representa el voltaje de línea  $V_{rs}$ , sistema dYN11.

$$Vst = V3 \quad (13)$$

Donde  $Vst$  representa el voltaje de línea  $V_{st}$ , sistema dYN11.

$$Vtr = V5 \quad (14)$$

Donde  $Vtr$  representa el voltaje de línea  $V_{tr}$ , sistema dYN11.

$$Ir = IT1 - IT3 \quad (15)$$

Donde  $Ir$  representa la corriente de línea fase r, sistema dYN11.

$$Is = IT2 - IT1 \quad (16)$$

Donde  $Is$  representa la corriente de línea fase s, sistema dYN11.

$$It = IT3 - IT2 \quad (17)$$

Donde  $It$  representa la corriente de línea fase t, sistema dYN11.

$$VRN = V2 \quad (18)$$

Donde  $VRN$  representa el voltaje de fase  $V_{rn}$ , sistema dYN11.

$$VSN = V4 \quad (19)$$

Donde  $VSN$  representa el voltaje de fase  $V_{sn}$ , sistema dYN11.

$$VTN = V6 \quad (20)$$

Donde  $VTN$  representa el voltaje de fase  $V_{tn}$ , sistema dYN11.

$$VRS = V2 - V4 \quad (21)$$

Donde  $VRS$  representa el voltaje de línea  $V_{rs}$ , sistema dYN11.

$$VST = V4 - V6 \quad (22)$$

Donde  $VST$  representa el voltaje de línea  $V_{st}$ , sistema dYN11.

$$VTR = V6 - V2 \quad (23)$$

Donde  $VTR$  representa el voltaje de fase  $V_{tr}$ , sistema dYN11.

## V. PRUEBA Y VALIDACIÓN

Todas las ecuaciones resueltas en el capítulo IV son ingresadas al software para desarrollar las simulaciones mediante software. Para las pruebas se realiza la conexión mostrada en la Fig. 5, sistema dYN11 120/416V con una carga trifásica de 180 [V]. Las respuestas del software cuya interfaz se muestra en la figura 7, fueron comparadas con las gráficas obtenidas mediante el instrumento de medición resultando en lo siguiente:



Fig. 6. Interfaz de ingreso de parámetros.

A continuación, se validan nuestras respuestas a vacío.

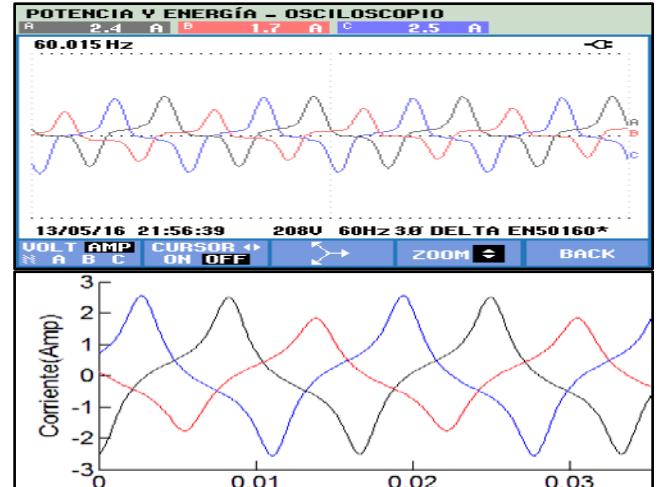


Fig. 7. Corrientes de fase del primario a vacío (experimental vs simulación).

La figura 8 representan las corrientes primarias de fase de la conexión delta, como se puede visualizar en ellas varían la amplitud de una fase respecto a otra, esto se debe a que las corrientes de los ramales de excitación de los transformadores no son las mismas. Por otro lado, se puede notar que la forma de onda en fase A no se ve afectada por la distinta relación de transformación del transformador 1 y 4 ya que ambas

corrientes de recirculación tienen sentido contrario por lo que al momento de sumarse se anulan.

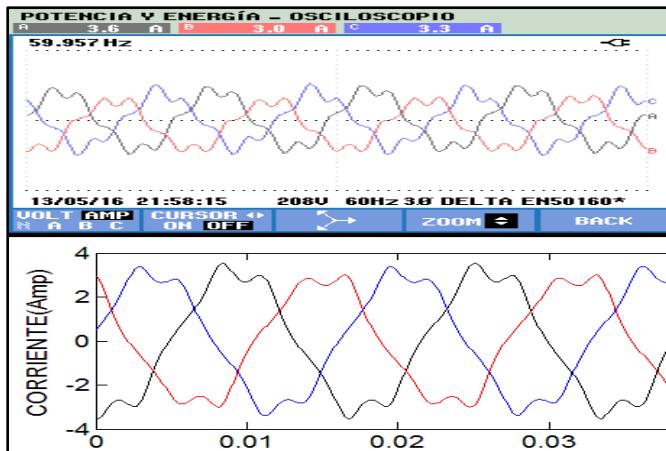


Fig. 8. Corrientes de línea del primario a vacío (experimental vs simulación).

En la figura 9 se representan las corrientes de línea de la conexión en delta, como se puede observar son de distinta forma de onda con respecto a las corrientes primarias de fase, esto es, debido a que las ondas que representan las corrientes de fase se restan entre sí tal como se observa en la figura 5.

También varían sus amplitudes, debido a que las corrientes de línea en sistemas balanceados se encuentran en raíz de tres veces por encima de la magnitud de la corriente de fase, pero en este caso al acoplar sistemas paralelos y ante la existencia de corrientes recirculantes, debido al acople de transformadores con distinta relación de transformación, no suele cumplirse esta relación. Se puede notar que la simulación se acerca mucho a las gráficas experimentales.

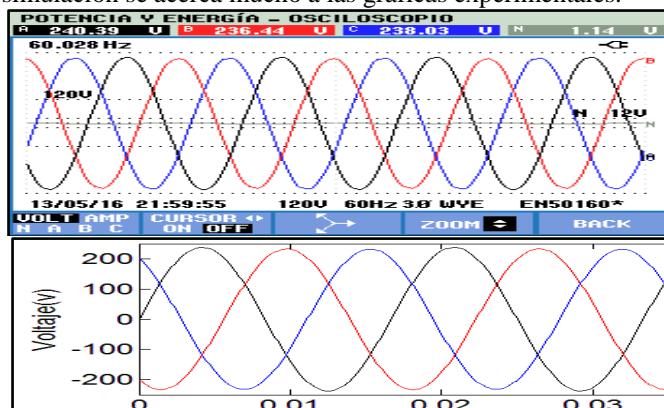


Fig. 9. Voltajes de fase del secundario a vacío (experimental vs simulación).

En la figura 10 se muestran los voltajes de fase del secundario del transformador, se puede notar que la amplitud no es la misma en las distintas fases del sistema, esto es, debido a que la entrada no estaba balanceada y también porque los transformadores no poseen la misma relación, como en el caso del transformador 1 y 4.

A continuación, se validan nuestras respuestas con carga.

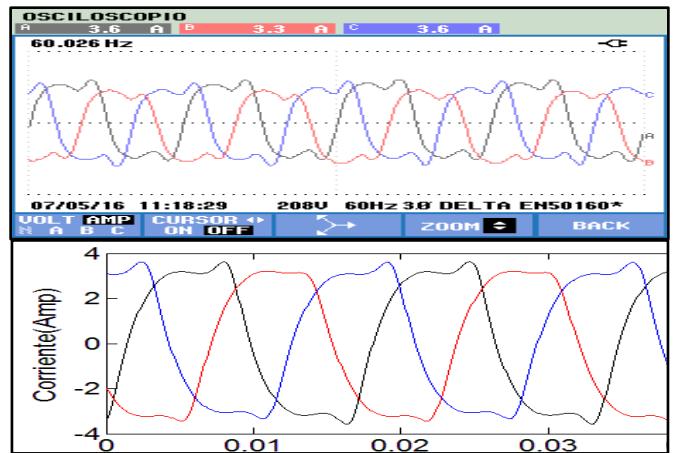


Fig. 10. Corrientes de fase del primario con carga (experimental vs simulación).

En la figura 11 se aprecian las corrientes de fase y en la figura 12 las de línea del sistema delta, las cuales poseen distintas amplitudes en las diferentes fases a pesar de que la carga sea balanceada, esto se debe a que los transformadores no poseen las mismas características constructivas. La mayor corriente se producirá en la fase A que alimenta el sistema, mientras que en la fase B será un valor menor ya que el ramal de excitación del transformador cinco es menor que en los demás transformadores y en la fase C tendrá un valor de corriente debido a las características del transformador tres y seis.

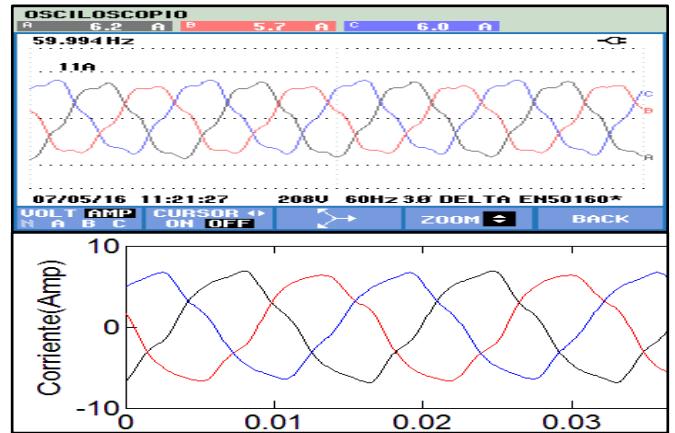


Fig. 11. Corrientes de línea del primario con carga (experimental vs simulación).

En la Figura 13, se muestra los voltajes de fase del secundario del transformador, se puede notar que la amplitud no es la misma en las distintas fases del sistema, esto es debido a que la entrada no estaba balanceada y también porque los transformadores no poseen la misma relación de transformación. Además, se debe considerar que la carga también condiciona el valor de salida del voltaje ya que incide en la corriente que va a pasar por las impedancias series de cada transformador haciendo que posea una mayor o menor caída de potencial según sea su valor.

Se determina el porcentaje de error, para definir qué tan acertado es el modelado. Para las respuestas a vacío se varía

los niveles de entrada desde 80 hasta 130 voltios, obteniendo las repuestas representadas en la figura 14.

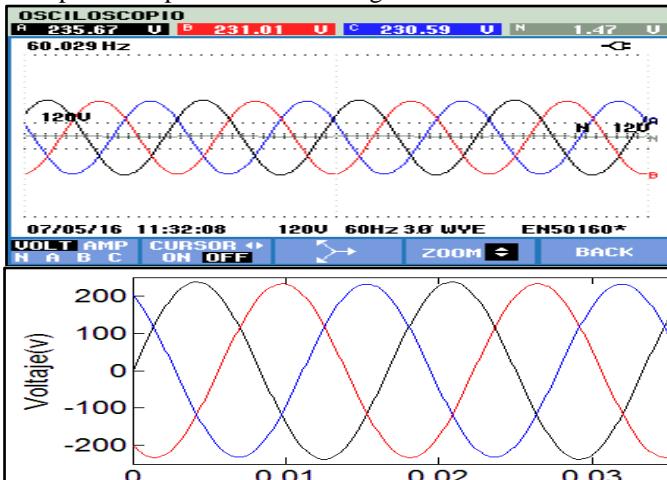


Fig. 12. Voltajes de fase del secundario con carga (experimental vs simulación).

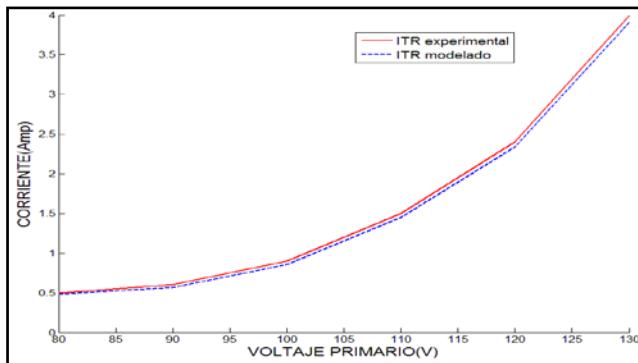


Fig. 13. Corriente de fase ITR en el primario (experimental-simulado) vs voltaje primario línea.

Para determinar nuestro porcentaje de error con carga, se colocan diversas cargas a nuestro secundario las cuales van desde  $130 \text{ } [\Omega]$  hasta  $180 \text{ } [\Omega]$  y manteniendo el mismo nivel de tensión, se obtiene los resultados y se muestran en la figura 15.

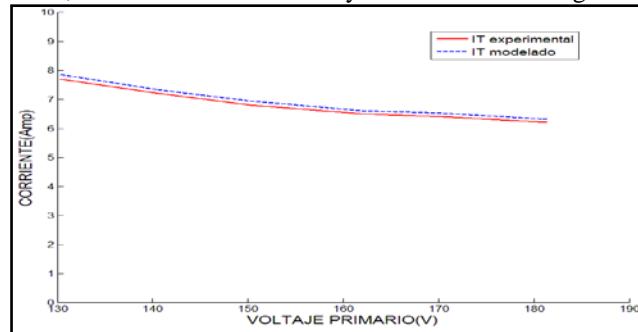


Fig. 14. Corriente de línea IT en el primario (experimental-simulado) vs carga resistiva trifásica de prueba.

## VI. CONCLUSIÓN

Las respuestas obtenidas al simular el sistema en vacío fueron satisfactorias, del cual se obtiene un porcentaje de error

promedio máximo de 3.73 [%] respecto a las respuestas experimentales. Al simular el sistema con una carga trifásica resistiva en estrella a  $180 \text{ } [\Omega]$  de  $2.5 \text{ } [\text{A}]$  máximo por cada resistor, el mismo que se conectó a nuestro sistema estrella secundario de  $416 \text{ } [\text{V}]$  manejando una corriente de línea de  $1.33 \text{ } [\text{A}]$ , se obtuvo un porcentaje de error promedio máximo del 2.55 [%] con respecto a las respuestas de los valores experimentales. Los transformadores monofásicos utilizados para realizar las pruebas son de construcción artesanal, y no se tiene datos precisos de sus parámetros eléctricos, solo los que se obtuvieron por investigación de la bibliografía perteneciente a estas máquinas. Se obtiene un software con un banco con las conexiones en paralelo de sistemas trifásicos d - Y, donde se pueden visualizar los resultados mediante gráficas de respuesta en el tiempo; como también, los resultados al alternar los datos de cada parámetro eléctrico del sistema de entrada o de cada uno de los transformadores.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por permitir el uso de sus laboratorios para el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] I. C. IEEE Std, *I IEEE G Guide for P Paralleling Regulating T Transformers IEEE Power and Energy Society*. 2015.
- [2] I. C. Constantin, "Master-Follower Method for Controlling Parallel Transformers Implemented in a Numerical Protection System," *Autom. Qual. Test. Robot.*, pp. 1–6, 2012.
- [3] P. S. Moses, S. Member, M. a S. Masoum, and S. Member, "Distortions in Three-Phase Transformer Magnetizing Currents with Nonsinusoidal Conditions Considering Magnetic Hysteresis and Leg-Flux Coupling Effects," *Univ. Power Eng. Conf. (AUPEC)*, 2011 21st Australas., 2011.
- [4] M. V. F. Da Luz, J. V. Leite, A. Benabou, and N. Sadowski, "Three-phase transformer modeling using a vector hysteresis model and including the eddy current and the anomalous losses," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 46, no. 8, pp. 3201–3204, 2010.
- [5] Z. Gaji, S. Aganovi, J. Benovi, G. Leci, and S. Gazzari, "USING IEC 61850 ANALOGUE GOOSE MESSAGES FOR OLTC CONTROL OF PARALLEL TRANSFORMERS," 2010.
- [6] S. Network, Z. Zhu, S. Sun, C. Zhang, and X. Mou, "Qualitative Calculation and Simulation Analysis of Transformer Parallel Operation," pp. 1027–1030, 2013.
- [7] Y. Huang, Y. Cai, Y. Wang, and H. Liu, "Distribution network load distribution strategy considering the economy of parallel transformers," *33rd Electr. Insul. Conf. EIC 2015*, no. June, pp. 114–117, 2015.
- [8] J. M. Yarza and R. Cimadevilla, "Advanced Tap Changer Control of Parallel Transformers based on IEC 61850 GOOSE Service," pp. 1–5, 2014.
- [9] H. Yoon, C. S. Park, and C. S. Koh, "Finite element analysis of iron loss estimation of 3MVA three-phase transformer utilizing generalized Chua-type vector hysteresis model," *Dig. 2010 14th Bienn. IEEE Conf. Electromagn. F. Comput. CEFC 2010*, p. 7062, 2010.
- [10] C. Method, M. Bolhasani, S. Sadat, H. Kamangar, and S. Tavakoli, "Determination of Distribution Function of Inrush Current in Three Phase Transformer Using Monte," pp. 1–7, 2012.

# Industrial Communications Integration at shop floor level using OPC-UA and IEC-61499

Marcelo V. García<sup>1,2</sup>, Edurne Irisarri<sup>1</sup>, Federico Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*University of the Basque Country, UPV/EHU, Spain*

{mgarcia294, edurneirisarri, federicoperez}@ehu.eus

<sup>2</sup>*Universidad Técnica de Ambato, Ecuador*

mv.garcia@uta.edu.ec

**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

## I. 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 [1]. 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 [2].

Por otra parte, 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 necesaria 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 [3].

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 [4].

En la “fábrica inteligente” tanto el IIoT como los diferentes elementos que componen los CPPS están convergiendo hacia el Internet de los Servicios (IoS). El IoS proporciona mecanismos para la fabricación basada en la nube que permiten crear, publicar y compartir los servicios que representan los procesos de fabricación [5].

Por otra parte, 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 [6]. 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).

Este trabajo presenta una plataforma 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 presenta un conjunto de SIFB para IEC 61499 y se describe en detalle el archivo XML de configuración para servidores OPC UA; la sección 3 muestra un caso de estudio en el que el conjunto anterior de SIFBs se emplean para el gobierno de una planta; la sección 4 presenta un conjunto de trabajos relacionados; finalmente, en la sección 5 se presentan algunas conclusiones y trabajos a futuro.

## II. 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. [7] 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 [8], 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. [9] [10] 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 [11] 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. [12] [13] 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 [14] 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 [15] propone patrones de modelado para diseño de sistemas industriales distribuidos como apoyo a la norma IEC 61499. De la manera similar, Serna et al. [16] 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 [17] 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.

### III. 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.

#### A. 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 Direcciónamiento (Address Space) con sus Tipos de Nodo (NodeTypes) e Instancias de Nodo (NodeInstances). En el espacio de direcciónamiento se definen las variables de datos suministradas por el servidor OPC UA (DataVariables). Además, dentro de la configuración se definen otras dos secciones:

```
<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">
    </FieldDevice>
  </FieldDevices>
  <DataMappings>
  </OPCUAServerConfig>
```

- 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 (Fig. 1).
- 2) *Data Mapping*: En esta sección se definen las relaciones existentes entre las variables de datos (DataVariables) ya declaradas la sección del Espacio de Direcciónamiento (Address Space) y sus correspondientes datos de proceso (FieldData) de los dispositivos de campo (FieldDevice).

Fig. 1: Configuración de Dispositivos de Campo

Además de eventos comunes a otros SIFBs como INIT, REQ, INITO y CNF (Fig. 2), 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.

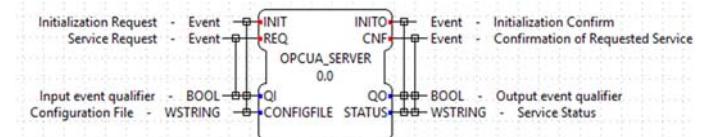


Fig. 1: SIFB OPCUA\_SERVER

#### B. SIFB OPCUA\_CLIENT\_READ

Este SIFB permite implementar un cliente OPC UA capaz de consultar de manera síncrona variables de un servidor OPC UA.

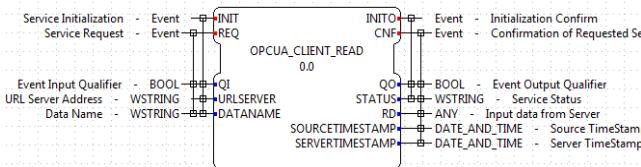


Fig. 2: SIFB OPCUA\_CLIENT\_READ

Además de los eventos comunes, este SIFB presenta los siguientes parámetros de entrada y salida (Fig. 3):

- 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.

#### C. SIFB OPCUA\_CLIENT\_WRITE

Mediante este SIFB (Fig. 4) 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.

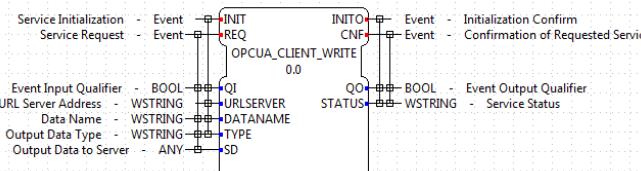


Fig. 3: SIFB OPCUA\_CLIENT\_WRITE

#### D. SIFB OPCUA\_CLIENT\_SUBSCRIBE

Además de los servicios de lectura y escritura síncrona, OPC UA permite el mecanismo de suscripción. 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 (Fig. 5) que permite crear clientes que realizan suscripción para monitorizar variables de servidores OPC UA.

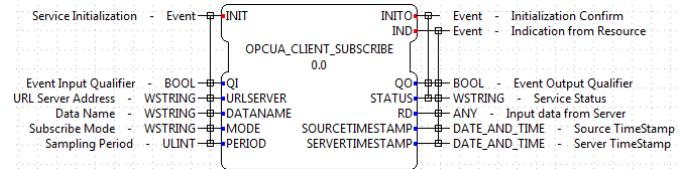


Fig. 4: SIFB OPCUA\_CLIENT\_SUBSCRIBE

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.

#### IV. 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 Fig. 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.

##### A. 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 (Fig. 6) que proporciona 8 entradas digitales y 8 salidas digitales de 24V por cada dispositivo.

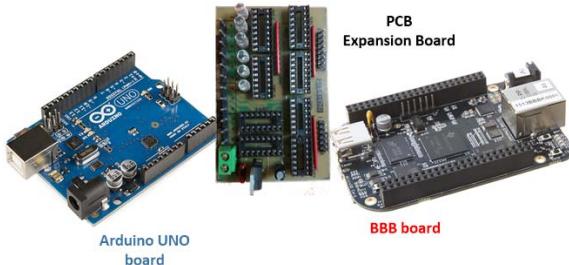


Figura 6: Plataforma Hardware

### B. Arquitectura Software

El principal elemento de la plataforma software es el entorno de programación compatible con la norma IEC 61499 y la arquitectura cliente/servidor OPC UA.

#### I) 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 [18]. 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 empotados 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 [19].

#### 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 [20]. 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.

#### C. Funcionamiento

Como se puede observar en la Fig. 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 Fig. 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.

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 Fig. 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

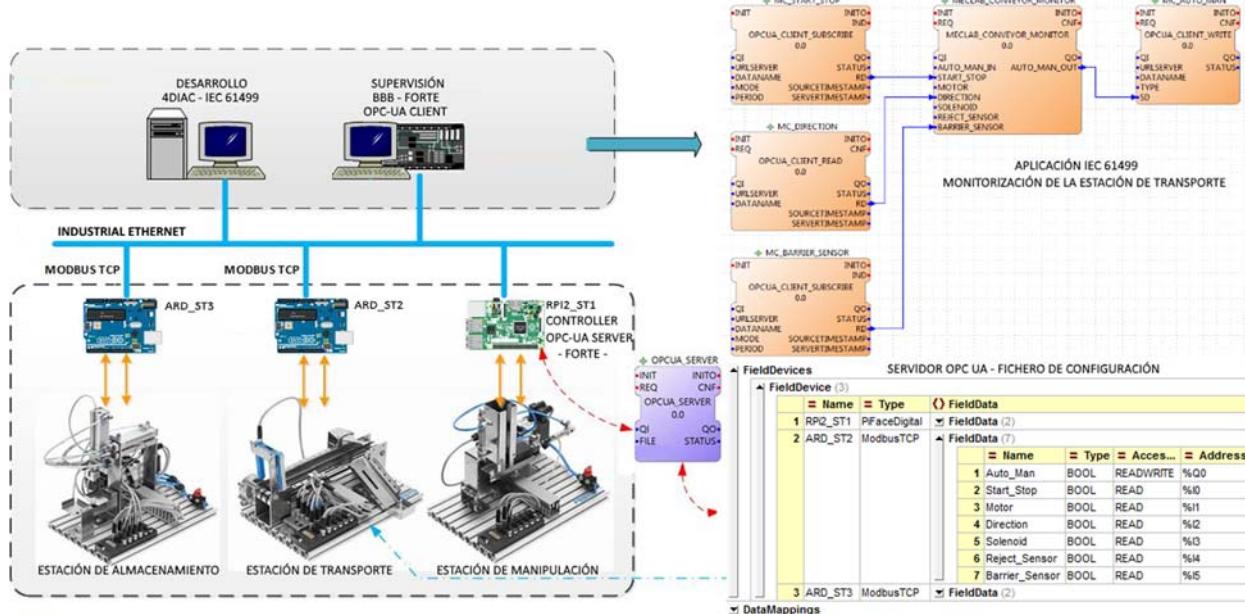


Fig. 7: Caso de estudio IEC 61499 y fichero de configuración del servidor OPC UA en formato XML

integrado en el runtime FORTE, de esta manera las características del servidor y cliente están incrustadas en el runtime.

## V. 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..

## REFERENCIAS

- [1] K. Takahashi, K. Yokoyama, and K. Morikawa, "Integrating Lean and Agile Strategies into the Production Control System for Mixed-model Production Lines," vol. 246, pp. 405–412, 2010.
- [2] K. Windt, F. Böse, and T. Philipp, "Autonomy in production logistics: Identification, characterisation and application," Robot. Comput. Integrat. Manuf., vol. 24, no. 4, pp. 572–578, 2008.
- [3] N. Jazdi, "Cyber physical systems in the context of Industry 4.0," Autom. Qual. Testing, Robot. 2014 IEEE ..., pp. 2–4, 2014.
- [4] C. Scheuermann, S. Verclas, and B. Bruegge, "Agile Factory - An Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process," 3rd IEEE Int. Conf. Cyber-Physical Syst. Networks Publ., vol. 2008, p. 5, 2015.
- [5] J. Kim, J. Lee, J. Kim, and J. Yun, "M2M service platforms: Survey, issues, and enabling technologies," IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 16, no. 1, pp. 61–76, 2014.
- [6] "International Electrotechnical Commission Std. (2005) IEC 61499: Function blocks, Part 1-4," 2014. [Online]. Available: <http://www.iec.ch>.
- [7] W. Kang, K. Kapitanova, and S. Son, "RDDS: A real-time data distribution service for cyber-physical systems," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 8, no. 2, pp. 393–405, 2012.
- [8] P. A. Vicaire, E. Hoque, S. Member, Z. Xie, and J. A. Stankovic, "Bundle : A Group-Based Programming Abstraction for Cyber-Physical Systems," vol. 8, no. 2, pp. 379–392, 2012.
- [9] J. Lee, B. Bagheri, and H.-A. Kao, "Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics," Int. Conf. Ind. Informatics 2014, no. November 2015, 2014.
- [10] J. Lee, E. Lapira, B. Bagheri, and H. an Kao, "Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment," Manuf. Lett., vol. 1, no. 1, pp. 38–41, 2013.
- [11] W. Dai and C. Chen, "Modeling Distributed Automation Systems in Cyber-Physical View," pp. 984–989, 2015.
- [12] L. Ferrarini, C. Veber, and P. Milano, "Design and implementation of distributed hierarchical automation and control systems with IEC 61499," I Can, pp. 0–5, 2005.
- [13] L. Ferrarini, C. Veber, and G. Fogliazza, "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.
- [14] K. Thramboulidis, "Model-Integrated Mechatronics—Toward a New Paradigm in the Development of Manufacturing Systems," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 1, no. 1, pp. 54–61, Feb. 2005.
- [15] J.H.Christensen, "Design patterns for systems engineering in IEC 61499," in Verteilt Automatisierung - Modelle und Methoden für Entwurf, Verifikation, Engineering und Instrumentierung, Germany, 2000, pp. 63–71.
- [16] K. Thramboulidis, "IEC 61499 function block model: Facts and fallacies," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 3, no. 4, pp. 7–23, 2009.
- [17] I. Stojmenovic, "Machine-to-Machine Communications with In-network Data Aggregation, Processing and Actuation for Large Scale Cyber-Physical Systems," IEEE Internet Things J., vol. PP,

- [18] no. 99, pp. 1–1, 2014.
- [18] 4DIAC Consortium. PROFACTOR GmbH, “*Framework for Distributed Industrial Automation and Control (4DIAC)*,” 2010. [Online]. Available: <http://www.fordiac.org>.
- [19] D. Van Der Linden, H. Mannaert, W. Kastner, V. Vanderputten, H. Peremans, and J. Verelst, “*An OPC UA interface for an evolvable ISA88 control module*,” IEEE Int. Conf. Emerg. Technol. Fact. Autom. ETFA, 2011.
- [20] A. Claassen, S. Rohjans, and S. Lehnhoff Member, “*Application of the OPC UA for the Smart Grid*,” IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur., pp. 1–8, 2011.

# *Utilización de Comunicación de Campo Cercano (NFC) como sensor para el desarrollo de aplicaciones móviles en el sistema de transportación mediante Computación en la Nube*

Estevan R Gómez Torres/ Nelson Herrera Herrera  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 Facultad de Ingeniería  
 Carrera de Ingeniería en Informática y Ciencias de la Computación  
 Quito, Ecuador  
 estevan.gomez@ute.edu.ec, Nelson.herrera@ute.edu.ec

Magi Paul Diaz  
 Universidad de las Fuerzas Armadas  
 "ESPE"  
 Departamento de Ciencias de la Computación  
 Quito, Ecuador  
 mpdiaz@espe.edu.ec

**Abstract—**The mass transit systems require a fast and flexible system that will guarantee: transactionality, safety and reliability for both the operator and the user, so that it can gain transactional control and meanwhile the user experience a quality of service based on highly mobile technologies. The aim of this work is to analyze the NFC technology taking into account the applicability to mass transit systems, to provide a flexible service and latest technology to users through a development proposal of a media system electronic payment applicable to Quito Metro

**Keywords—**NFC, Mobile applications, Cloud Computing, Transporting payment Solutions.

**Resumen--** Los sistemas de transporte masivo requieren de un sistema rápido y ágil que permita garantizar: la transaccionalidad, la seguridad y confiabilidad, tanto para el operador como para el usuario, de tal forma que se logre tener el control transaccional y por su parte el usuario experimente una calidad de servicio altamente basada en las tecnologías de dispositivos móviles. El objetivo de éste trabajo es hacer un Análisis de la Tecnología NFC tomando en cuenta la aplicabilidad a sistemas de transporte masivo, a fin de proporcionar un servicio ágil y de última tecnología a los usuarios, mediante una propuesta de desarrollo de un sistema de medios de pago electrónicos aplicable al Metro de Quito.

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

## I. INTRODUCCION

Las características de NFC determinan que sea muy corto alcance, pues trabaja a 13,56 MHZ y su tasa de transferencia de información puede alcanzar los 424 Kbps y lo hace usando una tecnología inalámbrica para transmisión de datos. Actualmente y debido a su gran soporte, se encuentra presente en la gran mayoría de teléfonos inteligentes y otros dispositivos móviles, está diseñada para la transmisión instantánea de pequeñas

cantidades de información como es el caso de Near-Field Communication o Comunicación de Campo Cercano, hoy por hoy 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. En el momento actual existe 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, como se observa en la Figura 1.

Un cambio drástico en la forma de interactuar con los objetos, lo ha determinado el Internet de las Cosas (IoT), es así como los dispositivos de su hogar, en el trabajo y el mundo que nos rodea se ha creado sistemas de control y trabajo que utilizan NFC. A través de NFC, adicionalmente, 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. Su tasa de transferencia puede alcanzar los 424 kbit/s por lo que su enfoque más que para la transmisión de grandes cantidades de datos es para comunicación instantánea, es decir, identificación y validación de equipos/personas.

Su característica más sobresaliente es la velocidad de comunicación, que es casi instantánea sin necesidad de emparejamiento previo. Por el contrario, 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. [1].

**Casos Referenciales:** La ciudad de Wuhan, en China tiene un proyecto piloto, donde se utilizarán pulseras para utilizar la tecnología NFC, así es como se cargarán las pulseras previamente con la 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 permitirá 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.

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.

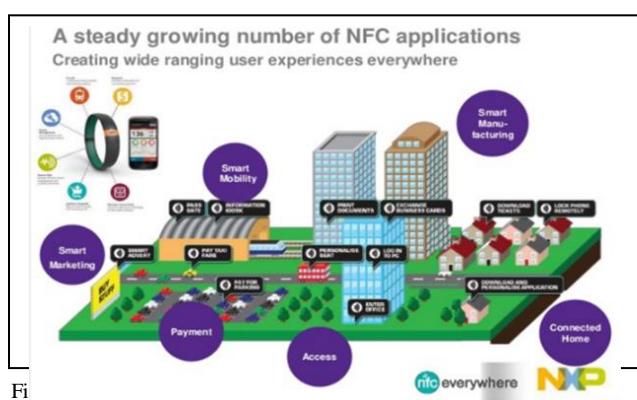
## II. ESPECIFICACIÓN DE LA ARQUITECTURA NFC

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. [2]

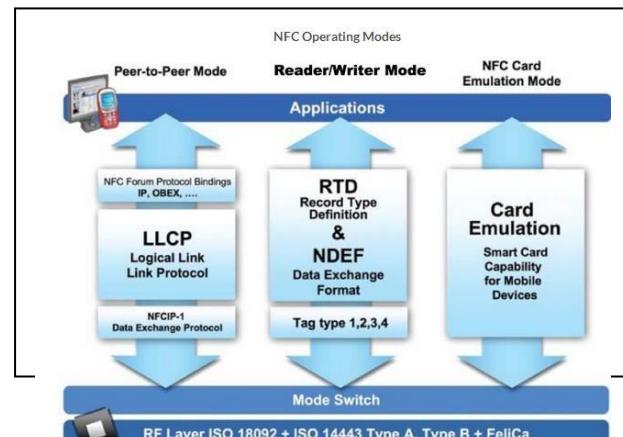


Aplicaciones de NFC .Figura 2 [4]

“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” [4].



**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.



Entre las características que se destacan están:

1 <http://www.slideshare.net/NFC-Forum/tap-into-nfc-showcase-shanghai>

<sup>2</sup> <http://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-applicationdocuments/specifications/>

- A. *Privacidad:* NFC por diseño tiene un limitado campo de operación, lo que impide la escucha de datos que podría ocurrir desde una distancia. 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. El limitado campo además de otras características de la ayuda de protocolo se utiliza para garantizar que el intercambio de datos se produce sólo con la parte que se pretende.
- 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 los poderes del lector de la etiqueta, que proporciona conectividad de Internet de las Cosas (IOT) dispositivos sin necesidad de utilizar baterías o corriente y que permite una configuración cero poder. Esta característica-recolección de energía permite un número de aplicaciones de baja potencia y de bajo costo.
- C. Soluciones rentables: Adición de una etiqueta NFC conectado 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 puede bajar la cuenta general de una aplicación de materiales.
- 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 la 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, agencias de transporte ven una oportunidad para mejorar el servicio al cliente y la eficiencia operativa mediante la reducción de su papel como emisor de medios de pago y adquirente de transacciones y

actuar más como un comerciante al por menor. Esta presentación analiza 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. [5].

En los últimos años, se ha introducido el pago sin contacto, por lo cual la industria de tarjetas bancarias ha introducido programas que hacen las tarjetas tradicionales más atractivo 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. 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 dinámica única, que identifica cada operación exclusivamente para evitar transacciones fraudulentas.

### III. MÉTODO

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 AFC 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 AFC deben cumplir estos requisitos cruciales.



Figura 4: Proyecto3 [1]

#### 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 para abrir la puerta o para señalar el piloto y el operador de autobuses si se debe permitir el paso.

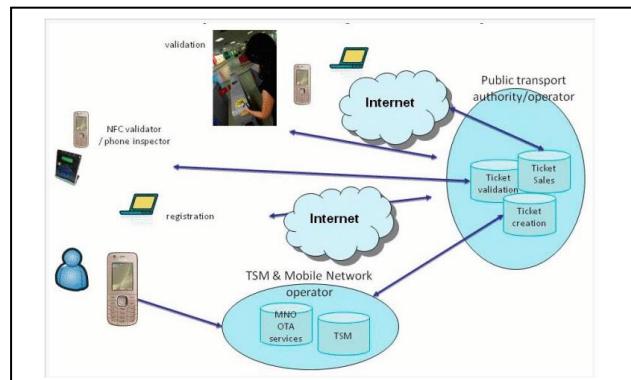
El terminal puede realizar funciones de seguridad, y también puede comprobar una lista negativa o positiva para determinar validez de la tarjeta antes de enviar los datos de pago para el huésped. El sistema de back office utiliza los datos enviados por el terminal para aplicar las reglas de negocio relevantes 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.

#### IV. 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 – Embedded Development,

<sup>3</sup> <http://cidoc.es/blog/proyecto-ejecucion-de-la-primer-linea-del-metro-de-quito-fase-2/>

(Development, 2011) 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.



Propuesta Inicial- Figura 5<sup>4</sup>

Se encuentra que el sistema básicamente deberá constar de tres Módulos: Modulo 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 validar realizar 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 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.

#### A. Ventajas de la propuesta

a) 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 (TSM). De acuerdo a (Gemalto, 2014) “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

<sup>4</sup> <http://www.cnx-software.com/2011/01/31/near-field-communication-nfc-in-public-transport/>

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.)”

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

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

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

#### B. Desventajas de la propuesta:

a) 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.

b) 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 (Doutel, 2012)

#### V. 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.

#### VI. 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 propone 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.

#### A. 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 una 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

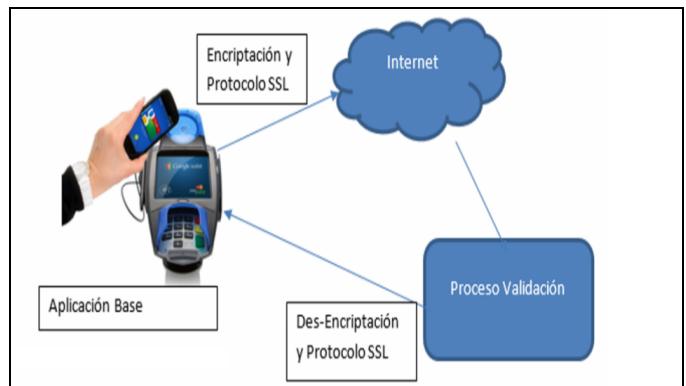


Figura 6: Descripción Aplicación Móvil, Autor

#### B. 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 enviará 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.

#### 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 autorizado, el importe de la compra es retirado de la cuenta del cliente, de lo contrario no habría la modificación a su cuenta.

#### VII. 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 desde el IoT. 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 en

crecimiento 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.

#### VIII. REFERENCIAS

- [1] C. Shannon, «Teoría matemática de la comunicación,» de La nueva comunicación, Kairos, 1948, p. 16.
- [2] R. Toretti, El paraíso de Cantor, Santiago de Chile: Universidad Nacional Andrés Bello, 1998.
- [3] V. Nevado, Introducción a las bases de datos relacionales, Madrid: Visión libros, s/f.
- [4] P. Kotler y G. Armstrong, Fundamentos de Marketing, México: Pearson, 2003.
- [5] J. Jerez, Comercio Internacional, Madrid: Esic Editorial, 2011.
- [6] Organización Mundial de Comercio, «Información sobre comercio internacional y acceso a los mercados,» 5 12 2013. [En línea]. Available: [http://www.wto.org/spanish/res\\_s/statis\\_s/statis\\_bis\\_s.htm?solution=WTO&path=/Dashboards/MAPS&file=Map.wcdf&bookmarkState=%22impl%22%22client%22,%22params%22%22%22langParam%22%22es%22%22}.](http://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/statis_bis_s.htm?solution=WTO&path=/Dashboards/MAPS&file=Map.wcdf&bookmarkState=%22impl%22%22client%22,%22params%22%22langParam%22%22es%22%22}.)
- [7] J. Curto y J. Conesa, Introducción al business intelligence, Barcelona: Editorial UID, 2010.
- [8] E. Codd, «Un modelo relacional para enormes bancos de datos compartidos,» Computeworld, 1985.
- [9] R. Sampieri, «Metodología de investigación,» 2006. [En línea].
- [10] Ecuador, Registro oficial, Quito, Pichincha, 2012.
- [11] Ecuador, Consejo de Comercio Exterior e Inversiones, Quito, Pichincha, 2008.
- [12] D. como se citó en Keith, «El lenguaje de las matemáticas,» Barcelona,

- Robinook, 2002.
- [13] M. Bunge, «La investigación científica,» México, Siglo XXI editores, tercera edición, 2004, p. 3.
- [14] N. Wiener, «Cibernetica,» Madrid, Guardiana de publicaciones, 1948, p. 80.
- [15] C. Shannon, «Teoría de la información,» de La ciencia de las telecomunicaciones, Sevilla, Reverté, 1995.
- [16] J. Ojeda, M. Arellano y A. Quintana, «Inteligencia de mercados internacionales como herramienta para el análisis estratégico de importaciones. Caso: Importación de ampicilina en el Ecuador,» Emprendedorismo y estrategia organizacional, pp. 33 - 43, 2012.
- [17] S. Alliance, «SmartCard Alliance,» 20 08 2016. [En línea]. Available: <http://www.smartcardalliance.org/>.
- [18] Ataka, «Ataka,» 20 08 2016. [En línea]. Available: <http://www.xataka.com/moviles/nfc-que-es-y-para-que-sirve>.
- [19] F. NFC, «NFC FORUM,» 21 08 2016. [En línea]. Available: <http://nfc-forum.org/our-work/specifications-and-application-documents/specifications/>.
- [20] NXP, «NXP,» 21 08 2016. [En línea]. Available: <https://nxp-rfid.com/products/ntag/ntag-i2c-benefits/>.
- [21] N. Forum, «NFC Forum,» 27 08 2016. [En línea]. Available: <http://nfc-forum.org/>.
- [22] Cidoc, «Cidoc,» 30 10 2016. [En línea]. Available: <http://cidoc.es/blog/proyecto-ejecucion-de-la-primer-linea-del-metro-de-quito-fase-2/>. [Último acceso: 01 10 2016].

# QBus: Movilidad Inteligente para el Usuario de Transporte Público

## *QBus: Smart Mobility for the Public Transportation User*

Juan Pablo Rojas, Julio César Bustos, Diego Ordóñez Camacho

Departamento de Informática y Ciencias de la Computación

Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias

Universidad Tecnológica Equinoccial

Quito, Ecuador

[rhpj1023573@ute.edu.ec](mailto:rhpj1023573@ute.edu.ec), [bnjc1023650@ute.edu.ec](mailto:bnjc1023650@ute.edu.ec), [dordonez@ute.edu.ec](mailto:dordonez@ute.edu.ec)

**Resumen** — 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 un trayecto. Permite usar la aplicación tanto en línea, mediante un browser, como desde un Smartphone, sin conexión a internet, y en la parada misma. Para el posicionamiento de la parada hace uso de tecnología Bluetooth Low Energy y de códigos Quick Response.

**Palabras Clave** — *transporte público inteligente; ciudades inteligentes; aplicaciones ubicuas*

**Abstract** —The QBus system provides to the public transportation users with the possibility of knowing the location of the stops, the transport lines using the stops, and the trajectory of those lines, allowing for the graphical view of the paths involved. The system can be used both online, from a browser, and offline from a smartphone not connected to the internet, onsite. For the correct positioning of the stop, the app uses Bluetooth Low Energy beacons and Quick Response codes.

**Keywords** — *intelligent public transportation; smart cities; ubiquitous apps.*

### I. 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 un trayecto. Permite usar la aplicación tanto en línea, mediante un browser como desde un Smartphone, sin conexión a internet, y en la parada misma. Para la ubicación del usuario hace uso de tecnología Bluetooth Low Energy, BLE, y de códigos Quick Response, QR.

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 [1].

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 [2].

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 [3] 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 [4].

A continuación el artículo se encuentra dividido de la siguiente manera: la sección II presenta los trabajos relacionados más relevantes al tema; la sección III detalla los métodos, tecnologías y herramientas utilizadas; en la sección IV se presentan los detalles del sistema resultante, considerando funcionalidad, diseño y pruebas; la sección V entabla una discusión que intenta comparar el sistema presentado con aquellos existentes destacando los puntos fuertes y débiles relevantes; finalmente la sección VI presenta

las conclusiones más importantes así como ciertas recomendaciones de trabajo a futuro.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Actualmente es común encontrar en ciudades sistemas de transporte inteligente [5]. 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 [6], 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 [7], 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 [8] 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 [9] investigan el uso de Bluetooth Low Energy, BLE, y Received Signal Strength, RSS. Asimismo, tanto Kobayashi [10], como Eken y Sayar [11] utilizan códigos Quick Response, QR, para resolver el problema de la ubicación en las paradas. Couto et al [12] juntan BLE, RSS y Near Field Communication, NFC, para explorar el problema del tiquetaje, siempre en relación con el transporte público.

## III. 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.

Se decidió implementar un sistema distribuido con un servidor centralizado en la nube, el cual contiene la información de paradas, líneas de transporte y rutas, y responde a las consultas distribuyendo la información tanto en html para su uso en un browser, 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, y su uso en un dispositivo móvil tipo Smartphone, para la cual se decidió realizar una aplicación nativa para iOS. Esta aplicación móvil se concibió sobre todo para un uso fuera de línea, por lo cual al encontrarse conectada al WiFi

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 Google 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.

## IV. RESULTADOS

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 Fig. 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.

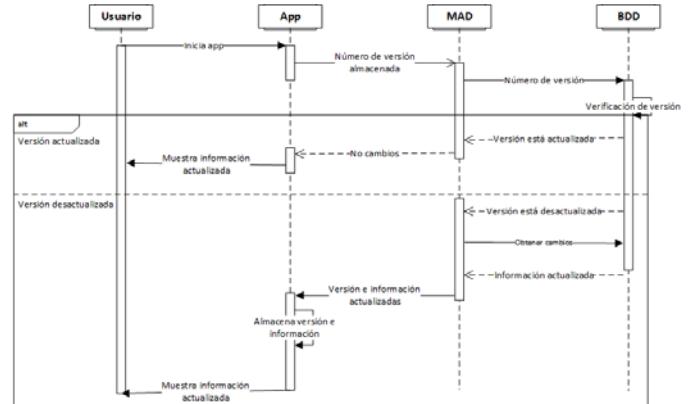


Figure 1. Detección del estado online y offline

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 Fig. 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.

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 Fig. 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 Fig. 4.

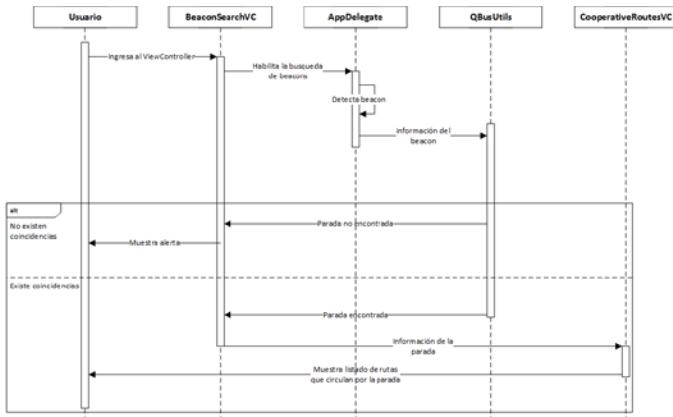


Figure 2. Proceso BLE para detección de paradas

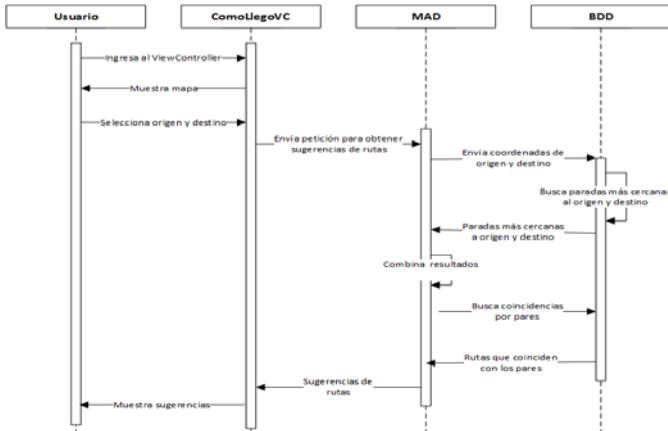


Figure 3. Buscador de rutas

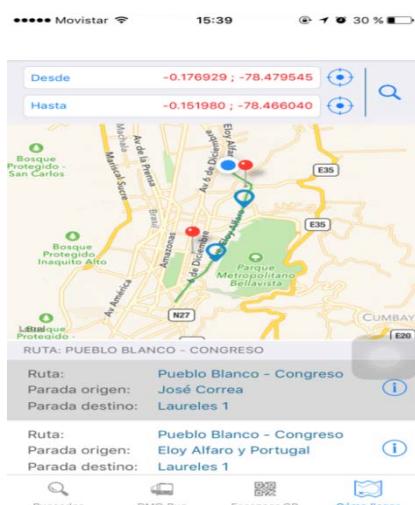


Figure 4. Sugerencias de ruta

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.

TABLE I. 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

## V. DISCUSIÓN

Uno de los principales aspectos dentro de una aplicación móvil es la facilidad de navegación, de tal modo que el usuario no tenga que manipular mucho para poder utilizar todas las funcionalidades que provea dicha app. 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.

Una de las fortalezas de QBus es que las rutas a presentarse no únicamente corresponden a buses, también pueden ser ingresadas al sistema de rutas del Trolebús, Ecovía, Metrobus, Metro y sus alimentadores, lo cual permite a la aplicación brindar mayor información al usuario.

Cabe recalcar que QBus está implementada, y toda la funcionalidad mencionada se encuentra probada, habiéndose inclusive realizado demostraciones para noticieros televisados;

TABLE II. COMPARACIÓN DE FUNCIONALIDAD

Funcionalidad	Aplicaciones				
	Q-Bus	Moovit	Google Maps	BA Cómo Llego	Transit App
<b>DISTRIBUCIÓN</b>					
Distribución a través de tiendas virtuales	n/a	X	X	X	X
Aplicación gratuita	n/a	X	X	X	X
<b>ÁMBITO</b>					
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
<b>SUGERENCIAS PARA LLEGAR DESDE UN LUGAR A OTRO</b>					
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	-	-	-	-
<b>PARTICULARIDADES</b>					
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	-	-	-	-

sin embargo 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.

## VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

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.

A futuro se planea desarrollar una versión de QBus para la plataforma Android, la cual tiene mayor porcentaje de usuarios en el mercado.

Un cuello de botella es la recolección de información de paradas y líneas, para lo cual se pretende implementar las recomendaciones de [5] automatizando la recolección de este información con la participación del mismo usuario.

Además, mediante las innovaciones que han tenido los beacons [13], 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.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Sungur, I. Babaoglu, y A. Sungur, “Smart Bus Station-Passenger Information System”, en *2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 2015, pp. 921–925.
- [2] A. B. Nkoro y Y. A. Vershinin, “Current and future trends in applications of Intelligent Transport Systems on cars and infrastructure”, en *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2014, pp. 514–519.
- [3] R. Verma, A. Shrivastava, B. Mitra, S. Saha, N. Ganguly, S. Nandi, y S. Chakraborty, “UrbanEye: An outdoor localization system for public transport”, en *IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications*, 2016, pp. 1–9.
- [4] R. Nasim y A. Kassler, “Distributed Architectures for Intelligent Transport Systems: A Survey”, en *2012 Second Symposium on Network Cloud Computing and Applications (NCCA)*, 2012, pp. 130–136.
- [5] M. Santos, R. L. Pereira, y A. B. Leal, “GBUS - Route GeoTracer”, en *2012 First International Workshop on Vehicular Traffic Management for Smart Cities (VTM)*, 2012, pp. 1–6.
- [6] S. Ram, Y. Wang, F. Currim, F. Dong, E. Dantas, y L. A. Sabóia, “SMARTBUS: A Web Application for Smart Urban Mobility and Transportation”, en *Proceedings of the 25th International Conference*

- Companion on World Wide Web*, Republic and Canton of Geneva, Switzerland, 2016, pp. 363–368.
- [7] Moovit Inc., “Moovit: Your Local Transit App – iOS, Android & Windows”, *Moovit*, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://moovitapp.com/>. [Consultado: 02-sep-2016].
- [8] T. Stockx, B. Hecht, y J. Schöning, “SubwayPS: Towards Smartphone Positioning in Underground Public Transportation Systems”, en *Proceedings of the 22Nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, New York, NY, USA, 2014, pp. 93–102.
- [9] F. Palumbo, P. Barsocchi, S. Chessa, y J. C. Augusto, “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)*, 2015, pp. 1–6.
- [10] H. Kobayashi, “A personal localization system using self-contained 2D barcode landmarks”, en *2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2015, pp. 882–887.
- [11] S. Eken y A. Sayar, “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*, 2014, pp. 299–303.
- [12] R. Couto, J. Leal, P. M. Costa, y T. Galvão, “Exploring Ticketing Approaches Using Mobile Technologies: QR Codes, NFC and BLE”, en *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 2015, pp. 7–12.
- [13] Kontakt.io, “iBeacon vs Eddystone”, *Kontakt.io*. [En línea]. Disponible en: <https://kontakt.io/beacon-basics/ibeacon-and-eddystone/>. [Consultado: 19-sep-2016].

# 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

César Armando Moreira Zambrano

Departamento de Tecnología

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí

Calceta, Ecuador

cmoreira@espm.edu.ec

René Guamán-Quinche

Departamento de Tecnología

Universidad Nacional de Loja

Loja, Ecuador

rguaman@unl.edu.ec

Walter Daniel Zambrano-Romero

Departamento de Informática y Electrónica

Universidad Técnica de Manabí

Portoviejo, Ecuador

walter.zambrano@fci.edu.ec

Wilner Cuenca

Departamento de Informática y Electrónica

Universidad Técnica de Manabí

Portoviejo, Ecuador

wilner.cuenca@fci.edu.ec

**Resumen**—En esta investigación se presentan los resultados obtenidos de implementar infraestructura como servicio para mejorar los servicios tecnológicos de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ESPAM, como: correo electrónico, entorno virtual de aprendizaje, repositorio digital y biblioteca virtual, se planteó la utilización de mecanismos de alta disponibilidad y virtualización para ofrecer recursos de mayor confiabilidad. Para ejecutar cada uno de los procesos, se ha aplicado, como estrategia, la metodología ciclo en V. La adopción de esta tecnología tiene todo el potencial para ser uno de los motores de innovación como solución tecnológica para las empresas e instituciones educativas, la idea de implementar tecnología redundante conlleva a que los servicios tecnológicos siempre estén operativos en beneficio de la comunidad universitaria, que es la transformación que debe aplicarse, sustentada en el uso de tecnologías de la información y comunicación, para lograr optimizar tiempo de procesamiento. Los sistemas operativos actuales cumplen los requisitos necesarios para adoptar esta solución, y complementándola con equipos de telecomunicaciones permitirán alcanzar el éxito, como alternativa, la redundancia, misma que al presentarse fallos en el sistema principal se habilitará de inmediato, permitiendo que los sistemas brindados por la ESPAM entren en operación en el menor tiempo posible.

**Palabras clave**—alta disponibilidad; computación en la nube; computación distribuida; nube educativa; virtualización.

**Abstract**—This paper shows the results of implementing an infrastructure as a service in order to improve technological services offered by the Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ESPAM, such as e-mail, virtual

learning environment, digital repository and virtual library, an application of high availability mechanisms and virtualization arose to provide more reliable resources in the institution. To perform each of the processes, as a strategy, the V-cycle methodology has been implemented. The adoption of this technology is vital for an innovative and technological solution for companies and educational institutions, the implementation of redundant technology leads to technological services be always in operation, for the benefit of the university community, which is the transformation that needs to be applied, based on the use of information and communication technologies, ICT, and thus achieve a better optimization of processing time. Current operating systems already meet the requirements for adopting this solution, and complementing it with telecommunications equipment will allow to have, as an alternative, redundancy, and when failures arise in the main system the redundant scheme will immediately come into operation, letting services provided by ESPAM be available in the shortest possible time.

**Keywords**—high availability; cloud computing; distributed computing; educational cloud; virtualization.

## I. 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 funcionalidad 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 [1]. 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 [2].

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 [3]. 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 [4].

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 [5].

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.

## II. METODOLOGIA

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.

### A. 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. En esta investigación se usó el modelo IaaS como mecanismo de solución de bajo costo en la implementación de servidores virtualizados.



Fig. 1. Modelos de computación en la nube en la educación.

### 1) 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 imparte formación relacionada con las TIC, ofrece 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 [6]. Figura 2.



Fig. 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 [6].

#### B. 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.

#### 1) 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.

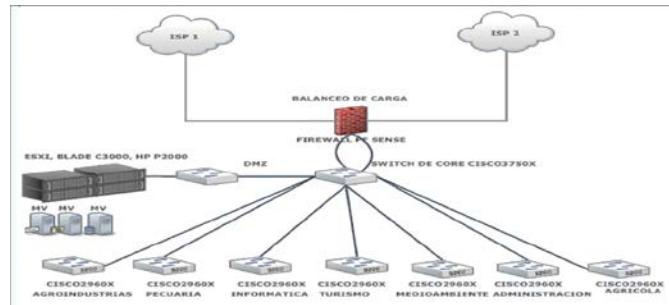


Fig. 3. Diagrama de red de IaaS del centro de datos de la ESPAM.

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.

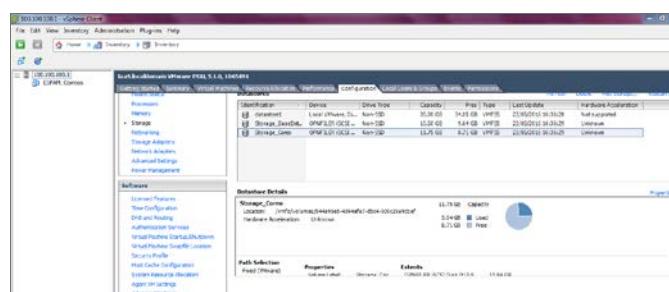


Fig. 4. Sincronización con almacenamiento independiente.

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.

### C. Fase de Implementación

Para la ejecución, se implementó una solución de virtualización Vmware, y como software de IaaS el 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, 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.



Fig. 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.

### D. 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 [7]. 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.

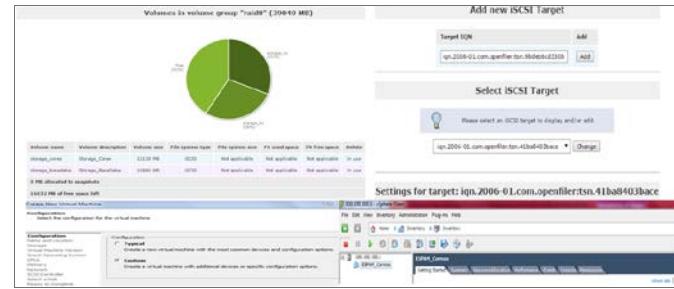


Fig. 6. Virtualización del servidor de correos de la ESPAM.

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 períodos de tiempos cortos, por la tecnología que integra, manteniendo la seguridad en todo momento. Figura 7.

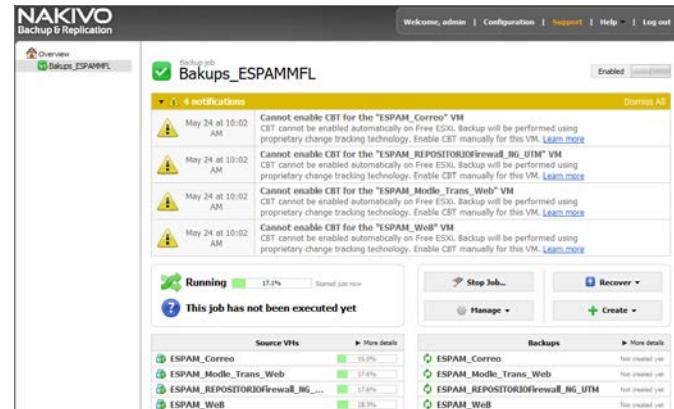


Fig. 7. Virtualización de servidor de correo de la ESPAM.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados 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 8.

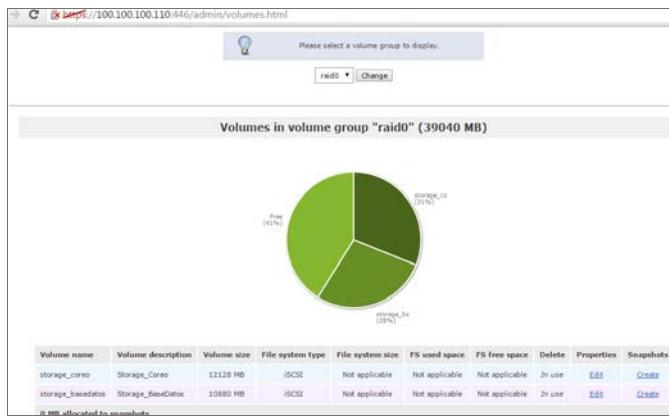


Fig. 8. Uso del RAID y volúmenes lógicos de la ESPAM.

Las pruebas realizadas en la infraestructura como servicio en comparación con los servicios tradicionales arrojaron los resultados que se muestran en la Tabla I.

TABLA I. 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 9.

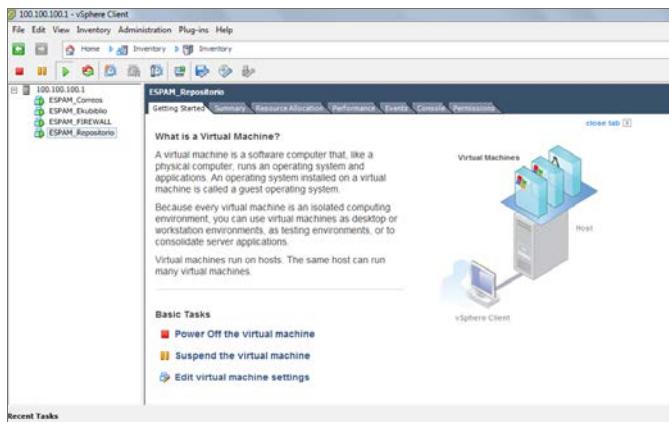


Fig. 9. Sistemas operativos y aplicaciones virtualizadas de la ESPAM.

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 [8].

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 [9].

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.

#### IV. 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 períodos 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 II, 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 II. 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	Autenticación, disponibilidad, supervisión, apoyo en la gestión, centro de operaciones de redes, respaldo.	5%	100%
Otros	Órdenes, aprovisionamiento, licencias, renovación, mejoras constantes.	1%	100%

Uno de los grandes beneficiarios de la implementación de la Infraestructura como Servicio en la ESPAM es la comunidad estudiantil, al contarse con herramientas y soluciones tecnológicas adaptable a las necesidades de ellos, y en un futuro no muy lejano poderles ofrecer el servicio de almacenamiento privado dentro de la nube de la IaaS que tiene la universidad.

#### AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a Dios por habernos dado la oportunidad de vivir, a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí y a su centro de datos, al apoyo de la Universidad Técnica de Manabí y de la Universidad Nacional de Loja, y a cada uno de nuestros familiares por el soporte constante en el desarrollo de esta investigación.

#### REFERENCIAS

- [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)
- [2] 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)
- [3] 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)
- [4] 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
- [5] 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
- [6] Nazareno, G.: Cloud Computing en la educación TIC. [http://www.gonzalonazareno.org/cloud/material/cloud\\_en\\_la\\_educacion.pdf](http://www.gonzalonazareno.org/cloud/material/cloud_en_la_educacion.pdf). (2012). Accedido el 20 de Noviembre del 2013
- [7] vmware. (2014). vSphere ESXi Hypervisor. <http://www.vmware.com/co/products/vsphere/features/esxi-hypervisor>. Accedido el 08 de noviembre del 2014
- [8] 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)
- [9] Orsi, Sociedad Informática Castilla.: Cloud Computing la tecnología como servicio. [http://www.orsi.jcyl.es/web/jcyl/ORSI/es/Plantilla100Detalle/1262861006271/\\_/1284152333822/Redaccion](http://www.orsi.jcyl.es/web/jcyl/ORSI/es/Plantilla100Detalle/1262861006271/_/1284152333822/Redaccion). (2010). Accedido el 27 de Agosto del 2013

# Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura

Vanessa Alvear<sup>1</sup>, Henry Farinango<sup>1</sup>, Iván Navarrete<sup>1</sup>, Paul Rosero-Montalvo<sup>1,2</sup>, Jorge Noguera<sup>3</sup>, Fabián Cuzme<sup>1</sup>, Diego Peluffo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica del Norte-Ibarra, Ecuador

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio- Urcuquí, Ecuador

<sup>3</sup> Yachay

vealvearp@utn.edu.ec, hpfarinangoe@utn.edu.ec, ienavarrete@utn.edu.ec, pdrosoro@utn.edu.ec, jnoguera@yachay.gob.ec, fcuzme@utn.edu.ec, dhpeluffo@utn.edu.ec

**Abstract—** 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 que permiten mejorar la calidad de vida de los usuarios. Para el desarrollo de estas aplicaciones 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 su aplicación en la vida cotidiana.

**Keywords,** IoT, IoT applications, Visión Artificial

## I. INTRODUCCIÓN

Internet de las Cosas es considerado como una verdadera revolución en el mundo tecnológico especialmente en las comunicaciones, según [1] IoT es una red inteligente que permite el intercambio de información y comunicación entre dispositivos inteligentes, por otra parte [2] 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 [3] 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 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 más 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.

## II. 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 [4]. Donde menciona al Internet de los objetos 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 [5] “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 coexisten 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 [6].

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. [7]
- Movilidad. - El IoT deberá proporcionar una conectividad sin fisuras, independientemente de donde los objetos se colocan o se traslade, además de tener en cuenta la importancia de no perder datos por ser un objeto móvil. [8]
- Limitación de recursos: Es necesario mencionar que cada objeto necesita gestionar su propia energía y capacidad de almacenamiento [9].
- La heterogeneidad: Una de las principales dificultades ya que 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. [10]
- 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 permita al objeto interactuar inmediatamente con otros objetos sin la necesidad de intervención humana [10].

#### 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 [11]. [12] y [13] plantean las siguientes arquitecturas.

- Arquitectura UIT. -De acuerdo con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la Arquitectura de Internet de las cosas consiste en [12]:
  - a) Capa de Sensores
  - b) Capa de Acceso
  - c) Capa de Red
  - d) Capa inter Lógica
  - e) 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. [13]
  - a) Capa Física
  - b) Capa de Virtualización

#### c) 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 [14].

### III. 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 [15]. En [16] 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.

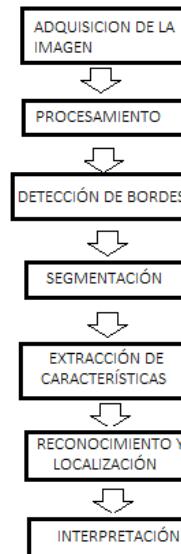


Figura 1. Fases del proceso de funcionamiento de la visión artificial al determinar una imagen

Dado que los usos de estas fases no dependen una de otra ni tampoco son obligatorias, influyen en el trabajo que se realice, explica [17].

En la fase de adquisición de la imagen, se indica en [18] 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 [17]. 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 [19]. A continuación, se realiza una segmentación de la imagen donde [20] indica que se puede seleccionar los pixeles en función de sus valores sean 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) y 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), así destacando un objeto de un determinado color. Por último [17] 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 [21]:

- Disminuir el ruido producido por los dispositivos electrónicos.
- Mejorar la calidad de algunas partes de la imagen.
- Las características de la imagen sean resaltadas.
- 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 [22].

#### C. Conversión a Escala de Grises

En [23] indica que la conversión de una imagen a escala de grises es el equivalente a la luminancia de la imagen. Donde es importante la intensidad de la luz para identificar los colores del espectro visible para el ojo humano. Mientras que en [21] enfatiza en que para esta conversión es necesario por medio de una media ponderada de los componentes de color de cada pixel.



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 que se presenten 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. 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 [24].

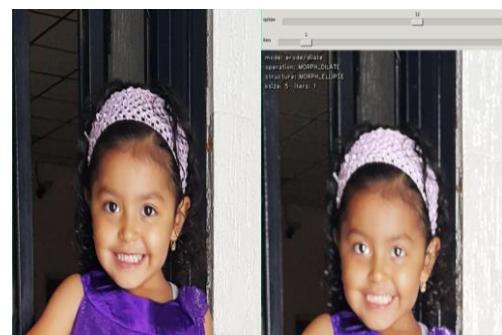


Figura 3. Imagen a colores y morfología de la imagen

#### E. Detección de Bordes

La detección de bordes es una importante etapa de preprocesamiento de análisis de imágenes indica [22]. Inicialmente es necesario encontrarlo en toda la imagen el cual será la 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. [16] Esto nos permite acceder a cada contorno no solo para visualizarlo sino para filtrarlo con diferentes criterios de clasificación según los atributos [20].

a.

### IV. APPLICACIONES 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 [25] 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 logaritmo 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, todos los datos son transmitidos inalámbricamente a través de una 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 [26], 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 [27] la solución propuesta en este trabajo se centra en el uso de WSNs y una adaptación a esta tecnología empleando visión 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 Internet of Things en beneficio de la población.

#### *C. Sistemas de vigilancia y control en hogares*

IoT se 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 [2] 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, el sistema cuenta con un proceso de notificación mediante correo electrónico o mensajería que le indicara 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 [28].

#### *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 control de la producción [28].

#### *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 serían que podemos determinar mediante modelos predictivos y algoritmos de machine learning, cuáles son los períodos de tiempo y los horarios óptimos para alcanzar un aprendizaje óptimo.

## V. 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.

## VI. 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 sería 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.

## VII. REFERENCIAS

- [1] S. Chen, H. Xu, D. Liu, B. Hu y H. Wang, «A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective,» IEEE Internet of Things Journal, pp. 349-359, 2014.
- [2] Ansari, A. N., Sedky, M., Sedky, M. y Tyagi, A., «An Internet of things approach for motion detection using Raspberry Pi,» de Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things, ICIT 2015, 2015.
- [3] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista y M. Zorzi, «Internet of Things for Smart Cities,» IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, pp. 22-32, 2014.
- [4] ITU, «ITU.ORG,» 2005. [En línea]. Available: <http://www.itu.int/osp/publications/internetofthings/>.
- [5] ITU, «ITU,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.itu.int/osp/publications/internetofthings/>.
- [6] CISCO, «Education and the Internet of Everything,» Cisco Consulting Services and Cisco EMEAR Education Team, pp. 1-15, 2013.
- [7] B. Fabian and O. Gunther, «Distributed ons and its impact on privacy,,» IEEE International Conference, p. 1223–1228., 2007.
- [8] J. X. a. S. M. I. F. Akyildiz, «A survey of mobility management in next-generation all-ip-based wireless systems,» Wireless Communications, IEEE, pp. 16 -28, 2007.
- [9] V. T. S. K. P. S. a. D. S. D. Guinard, «Interacting with the soa-based internet of things: Discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services,» Services Computing, IEEE, pp. 223 - 235 , 2010.
- [10] V. P. G. C. L. A. Michele Nitti, «The Virtual Object as a Major Element of the Internet of Things: a Survey,» IEEE, pp. 1-12, 2015.
- [11] R. R. S. T. Somayya Madakam, «Internet of Things (IoT): A Literature,» Enero 2015. [En línea]. Available: [http://file.scirp.org/pdf/JCC\\_2015052516013923.pdf](http://file.scirp.org/pdf/JCC_2015052516013923.pdf).
- [12] D. A. Bagula, «INTERNET OF THE THINGS (IoT):An introduction to wireless sensor,» ISAT Laboratory, University of Cape Town, South Africa , p. 43, 2013.
- [13] Department of Electrical and Electronic Engineering - University of Cagliari,, «The Virtual Object the Internet of Things,» IEEE Communications Surveys & Tutorials, pp. 1 -12, 2015.
- [14] T. Jaffey, «Eclipse, Retrieved from MQTT and CoAP, IoT Protocols,» febrero 2014. [En línea]. Available: [http://eclipse.org/community/eclipse\\_newsletter/2014/february/article2.php](http://eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php).
- [15] I. Culjak y D. Abram, «A brief introduction to OpenCV,» MIPRO, pp. 1725-1730, 2012.
- [16] G. Bradski y A. Kaehler, Learning OpenCV, Cambridge: O'Reilly Media, Inc., 2008.
- [17] M. Álvarez, "ANALISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INGRESO DE VEHICULOS BASADO EN VISION ARTIFICIAL, Cuenca, 2014.
- [18] J. Vélez, A. Moreno, A. Sánchez y J. Sánchez, Visión por Computador, Universidad Rey Juan Carlos , 2003.
- [19] M. Shah, Fundamentals of Computer Vision, Orlando: University of Central Florida, 1997.
- [20] M. G. Posada, Diseño de Prototipo de Recogida Automatizada de Bolos Mediante Brazo Robótico y Visión Artificial, Oviedo, 2015.
- [21] M. Cárdenas y O. Lerena, Automatización de un sistema de centrado de componentes utilizando visión artificial, Cuenca: UPS, 2012.
- [22] S. Matuska, R. Hudec y B. Miroslav, «The Comparison of CPU Time Consumption for Image Procession Algorithm in Matlab and OpenCV,» IEEE, pp. 75 - 78, 2012.
- [23] E. Sobrado, «SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE OBJETOS UTILIZANDO UN BRAZO ROBOT,» Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima, 2009.
- [24] G. Bradski y A. Kaehler, Learning OpenCV, Cambridge: Newgen Publishing and Data Services, 2008.

- [25] F. Paci , D. Brunelli y L. Benini, «0, 1, 2, many — A classroom occupancy monitoring system for smart public buildings,» de Design and Architectures for Signal and Image Processing (DASIP), 2014 Conference on, Madrid, 2014.
- [26] K. Akkaya, I. Guvenc, . R. Aygun y N. Pala , «IoT-based occupancy monitoring techniques for energy-efficient smart buildings,» de Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2015 IEEE, New Orleans, LA, 2015.
- [27] L. Baroffio, L. Bondi, M. Cesana, A. E. Redondi y M. Tagliasacchi, «A Visual Sensor Network for Parking Lot Occupancy Detection in Smart Cities,» de Internet of Things (WF-IoT), 2015 IEEE 2nd World Forum on, Milan, 2015.
- [28] S.A.B.I.A.(Sistemas Adaptativos y Bioinspirados en Inteligencia Artificial), « Visión Artificial e Interacción sin Mandos» marzo 2015. [En línea]. <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/3D/VisiónArtificial/>

# Breve análisis del estado del arte de sistemas para casas inteligentes que utilizan la tarjeta electrónica Raspberry Pi

JOSÉ ALCIDES RUMIPAMBA LÓPEZ

Grupo de investigación de redes inteligentes  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
jrumipamba@ups.edu.ec

LUIS FERNANDO TIPAN VERGARA

Grupo de investigación de redes inteligentes  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
ltipan@ups.edu.ec

**Abstract—** The main idea to have a smart home which helps to the people in everyday tasks is a reality. Currently there are some developed systems as well as others which are under investigation, such systems outfit to the home the ability to manage their resources such as save energy, reduce waste water, the control of temperature in a room, preserve food into the refrigerator and so on. Power consumption is one of the drawbacks of these systems, the question, How does it do?, if the same system together with the computer remain on all the time, that do not allows to save electricity. In order to achieve a low consumption of electricity a low cost, the most current research use the Raspberry Pi platform, this platform provide a small computer, less expensive and permit to save electricity better than a normal desktop computer. These kind of technologies along with the communication systems allow to control them from a smart device such as a smartphone with Android.

**Keywords—** *Raspberry Pi, reduce costs, save energy, smart home, Android.*

**Resumen—** La idea de tener un hogar inteligente que facilite la vida de las personas ayudándoles en tareas cotidianas es una realidad. En la actualidad existen muchos sistemas desarrollados y otros que están en fase de investigación, para dotar al hogar de la capacidad de administrar sus recursos, como son por ejemplo ahorrar energía eléctrica, reducir el desperdicio de agua, controlar la temperatura de una habitación, reabastecer su nevera, etc. Uno de los inconvenientes de estos sistemas era precisamente el controlar el consumo de energía eléctrica, ¿Cómo hacerlo?, si el mismo sistema gobernado por un computador debe permanecer encendido todo el tiempo consumiendo mucha energía eléctrica. Para solucionar en parte este problema la mayoría de las investigaciones actuales optan por la utilización de equipos de bajo consumo energético y bajo costo. Uno de estos equipos es la tarjeta Raspberry Pi, la misma que provee al usuario de un pequeño computador portátil de menor costo y que consume menos energía eléctrica que un computador de escritorio normal. Estos sistemas sumados a las tecnologías de comunicación actuales, permiten al usuario manejar los mismos desde un dispositivo inteligente de Android por ejemplo.

**Palabras clave—** *Raspberry Pi; reducir costos; economizar energía; hogar inteligente; Android.*

## I. INTRODUCCIÓN

La frase “Hogar Inteligente” (“Smart Home” por su traducción al inglés) se ha puesto de moda en los últimos tiempos, y ya es una realidad que en la actualidad está atrayendo la atención de muchos investigadores en este campo. Existen novedosos sistemas costosos que controlan un hogar inteligente gobernados por un computador que se utiliza en muchos casos como servidor y administrador del sistema. Aunque no cabe duda de que son sistemas ingeniosos, prácticos y muy útiles, muchas personas se lo piensan antes de adquirirlo debido a su alto costo y al alto consumo energético que provocaría el mantener encendido todo el tiempo este sistema.

En base a lo anterior se han buscado alternativas para contrarrestar estos principales inconvenientes, y una de las alternativas más viables es reemplazar el computador central por un computador de menor costo y menor consumo energético. Es aquí donde entra en escena la tarjeta Raspberry Pi, ya que por sus características de diseño cuenta con herramientas que le permite asumir funciones propias de un computador normal basado en Linux.

A continuación, se enumeran las partes principales de la tarjeta electrónica Raspberry Pi modelo B que la hace comparable con un computador estándar. Esta tarjeta electrónica cuenta con un procesador de arquitectura ARM de 700 MHZ con 512MB de memoria y un núcleo de vídeo IV para gráficas 3D. La figura 1 detalla de forma gráfica la constitución de la tarjeta electrónica.

El documento está organizado de la siguiente manera. La sección 1 hace una introducción al tema mencionando rápidamente las ventajas de utilizar una tarjeta Raspberry Pi. En la sección 2 se presenta un breve estado del arte de algunos de los sistemas creados para hogares inteligentes que utilizan una Raspberry Pi. La sección 3 contiene el diseño de un sistema de prueba para conectar un dispositivo inteligente de sistema operativo de Android con la tarjeta electrónica Raspberry Pi. El sistema de prueba implementado se muestra en la sección 4. Las pruebas realizadas con el sistema de prueba se detallan en la sección 5 y por último en la sección 6 se presentan algunas conclusiones.

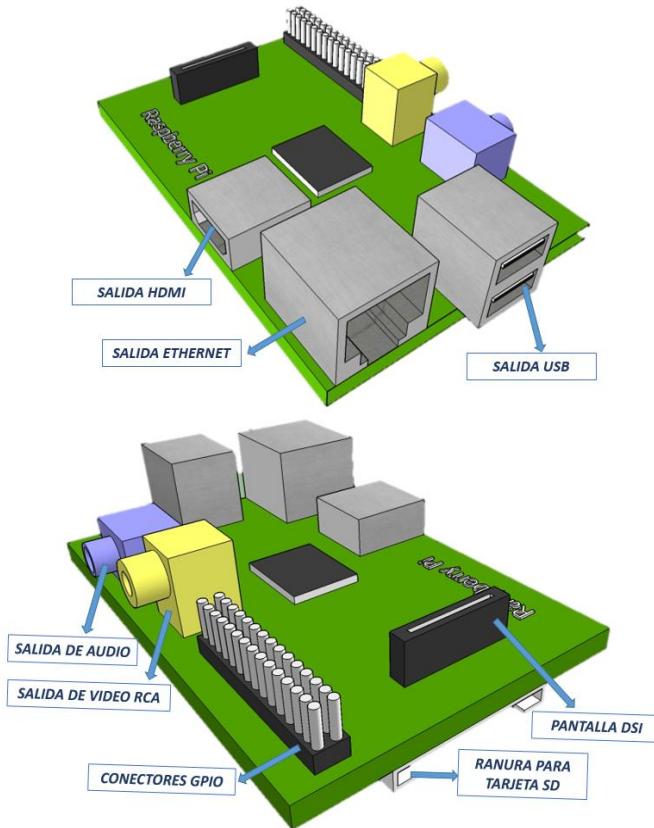


Fig. 1. Partes principales de la tarjeta electrónica Raspberry Pi modelo B.

## II. ESTADO DEL ARTE

Trabajos como los de Nikhil Agrawal [1] que estudia el riego por goteo automatizado, avalan el hecho de que en base a una tarjeta electrónica Raspberry Pi, un Arduino y una tarjeta Xbee se puede conseguir un sistema de menor costo y menor consumo energético. El autor menciona en su trabajo que el proyecto creado es útil y práctico, debido a su automatismo y fácil manejo del sistema que permite regular el consumo de agua en el riego por goteo. El usuario envía un mensaje por correo electrónico para realizar el control sobre el proceso del sistema que se encargará de regar las plantas del jardín, dependiendo de las condiciones del clima y de la humedad del suelo que se obtienen mediante sensores. El control del flujo de agua para el regadío se realiza mediante electroválvulas accionadas con relés de contacto sólido, los mismos que a su vez son manejados a través de una tarjeta de Arduino. El diagrama de bloques del sistema propuesto en [1] se muestra en la figura 2.

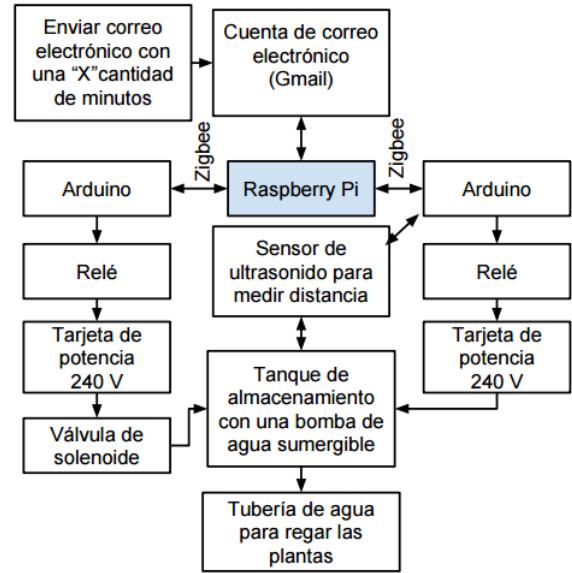


Fig. 2. Sistema propuesto por Nikhil Agrawal [1] en 2015.

M. Mahadi Abdul [2] se centra en el desarrollo de un proyecto piloto que ayudará a las personas mayores y minusválidas a controlar remotamente aparatos eléctricos, desde cualquier dispositivo que tenga acceso a Wi-Fi. Los dispositivos inteligentes permiten configurar tareas específicas dependiendo de las necesidades de cada usuario, esto permite que el consumo de energía sea moderado ya que se tendrá el control de encendido y apagado de los dispositivos eléctricos que se necesitan ocupar un instante determinado. El trabajo [2] menciona además que el estudio le resta importancia al costo de la construcción del sistema, debido a que se utilizan tarjetas electrónicas de bajo costo, y se centra en el ahorro de energía eléctrica que se podría obtener con la propuesta realizada. El sistema propuesto cuenta también con una interfaz gráfica de fácil manejo diseñada con Python Tkinter para controlar el sistema, y monitorear el proceso mediante vídeo proporcionado por una webcam. El proyecto prototípico controla las salidas GPIO de la Raspberry Pi para manejar una lámpara, las revoluciones de un ventilador en 3 niveles y utiliza una entrada para la webcam. El diagrama de bloques del sistema propuesto en [2] se muestra en la figura 3.

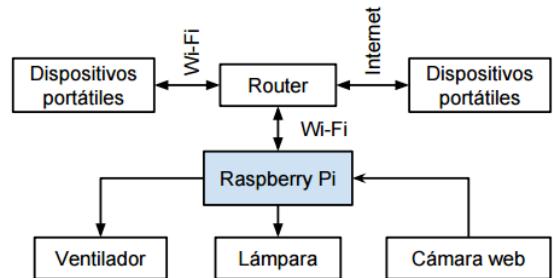


Fig. 3. Sistema propuesto por M. Mahadi Abdul [2] en 2015.

Kryvyy Rostyslav [3] en su trabajo analiza el comportamiento de la Raspberry Pi programada bajo el lenguaje Java ME SDK. Extrae conclusiones que sostienen el buen funcionamiento de la tarjeta Raspberry Pi al utilizarla como servidor en lugar de una computadora normal. Realiza pruebas con los puertos GPIO y presenta aportes en base a códigos de programación. Los sensores que utiliza en las pruebas son los mismos que se utilizan con Arduino. En las conclusiones el autor menciona que escoger una Raspberry Pi para trabajar en “Smart Home” es una buena decisión.

Ching-Chuan Wei [4] propone un sistema para controlar una cerradura electrónica desde un dispositivo inteligente a través de una APP creada con Eclipse. Como en trabajos anteriores se utiliza una tarjeta electrónica Raspberry Pi como servidor y núcleo del sistema. Para controlar la cerradura electrónica se utiliza tecnología Z-Wave, la misma que es un protocolo de comunicación inalámbrico desarrollado específicamente para domótica. El autor prevé utilizar el sistema para alquiler de habitaciones o bodegas, ya que se puede programar una clave para el inquilino y una fecha de expiración. También se menciona la necesidad de utilizar un servidor gratuito de dominio proporcionado por NO-IP, esto para el caso de servidores de red con IP dinámica. El diagrama de bloques que representa el sistema propuesto en [4] se muestra en la figura 4.

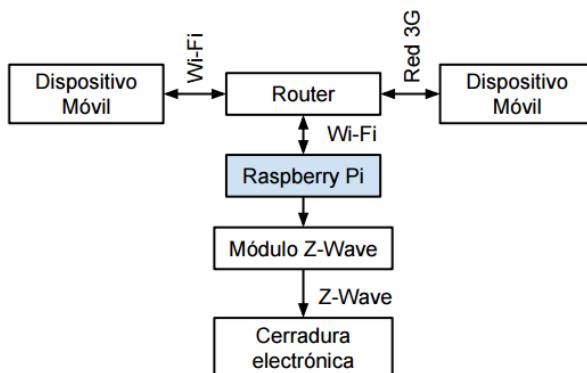


Fig. 4. Sistema propuesto por Ching-Chuan Wei [4] en 2015.

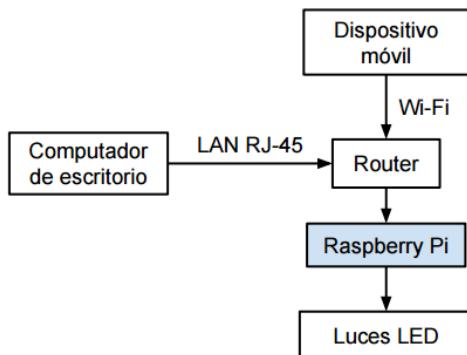


Fig. 5. Sistema propuesto por César Cheuque [5] en 2015.

César Cheuque [5] utiliza una Raspberry Pi para crear un control automático de luces LED, con la finalidad de ser una alternativa económica. El autor codifica dentro la Raspberry Pi una página web con lenguaje de código abierto accesible dentro la red local del hogar. Se habla de la posibilidad de utilizar cualquier dispositivo inteligente que permita acceder a una conexión Wi-Fi para realizar el control de las luces. El diagrama de bloques del sistema propuesto en [5] se muestra en la figura 5.

Adriana Wilde [6] en su trabajo analiza la posibilidad de crear un prototipo de casa inteligente controlado por comandos de voz. El autor utiliza un programa para reconocimiento de voz en la Raspberry Pi denominado Jasper, y de esta manera espera evitar el contacto físico para activar una luz piloto. El trabajo además propone utilizar una impresora de chorro de tinta para crear circuitos impresos flexibles y económicos buscando incursionar en este campo. El sistema es modular y se compone de dos partes, el bloque del servidor (Smart Home Hub por su traducción al inglés) y el bloque del cliente (Wearable Device por su traducción al inglés). Las pruebas realizadas en el trabajo [6] revelan que el reconocimiento de voz es ineficiente, y debe ser mejorado para poder utilizar el sistema en proyectos reales. El diagrama de bloques que representa el sistema propuesto en [6] se muestra en la figura 6.

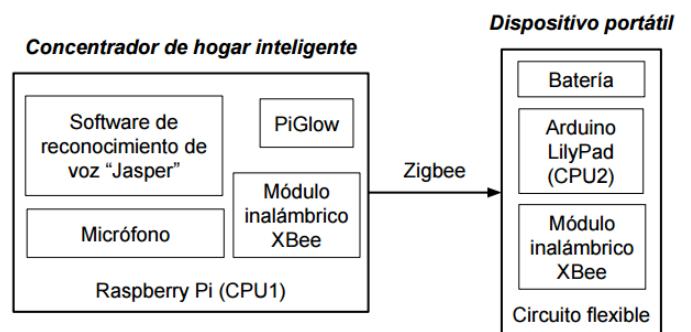


Fig. 6. Sistema propuesto por Adriana Wilde [6] en 2015.

Syarif Hidayat [7] crea un sistema de reconocimiento de voz para controlar los conectores de salida GPIO. El micrófono y los parlantes son conectados directamente a la tarjeta Raspberry Pi. Los comandos de voz son analizados por la aplicación Wolfran Alfa que convierte las palabras en texto dentro de la Raspberry Pi. Se utiliza una matriz de relés para activar los dispositivos eléctricos que pueden ser una lámpara o una puerta de garaje. El sistema también es controlable manualmente a través de una interfaz gráfica creada en una página web. El diagrama de bloques del sistema propuesto en [7] se muestra en la figura 7.

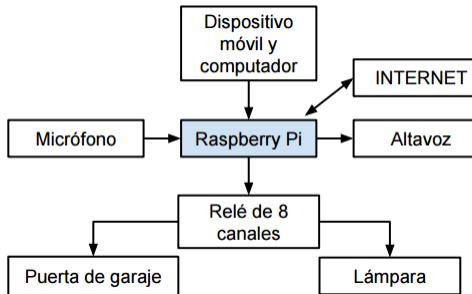


Fig. 7. Sistema propuesto por Syarif Hidayat [7] en 2015.

### III. DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRUEBA

Para poner en práctica algunos de los conocimientos recopilados de los autores mencionados en el estado del arte, y controlar las salidas GPIO desde un dispositivo inteligente con sistema operativo de Android se diseñó un sistema de prueba. Este sistema de prueba es administrado por un servidor programado en Python 3 dentro de una tarjeta electrónica Raspberry Pi modelo B. Dicho servidor será capaz de recibir mensajes en cadenas de caracteres desde un cliente mediante conexión Wi-Fi y devolver una respuesta de la misma forma. El pseudocódigo que describe el funcionamiento del servidor se muestra en la figura 9.

El cliente fue programado utilizando el entorno de desarrollo integrado de Android Studio en un dispositivo inteligente con sistema operativo de Android. Dicho cliente cuenta con una interfaz gráfica que permite al usuario encender y apagar tres luces LED con cada uno de los pulsadores provistos en la pantalla. Para enviar y recibir datos con la aplicación se ha creado un socket de comunicación con una dirección IP (IP del servidor) y un puerto que en este trabajo es el 14800 (Puerto de comunicación con el servidor). Los pulsadores fueron programados de tal forma que cuando son presionados envían la cadena de caracteres adecuada hacia el servidor, esto último solo ocurre si la conexión se ha establecido previamente. Se puede observar la apariencia de la aplicación móvil en la figura 8.

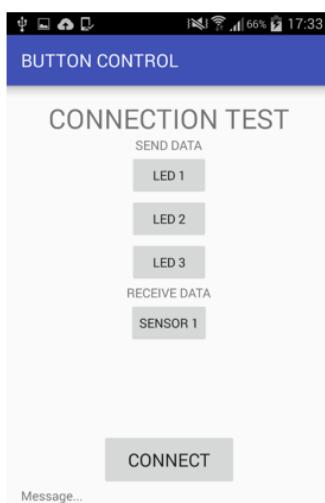


Fig. 8. Apariencia gráfica de la aplicación diseñada con Android Studio.

```

Entradas: Conexión, socket, DatoLeido.
Salidas: GPIO, Led1, Led2, Led3.
Hacer Mientras (Verdad)
  Imprimir ("Esperando conexión...")
  Conexión = socket.Aceptado
  Imprimir ("Cliente conectado", Conexión.Cliente)
  Hacer Mientras (Verdad)
    DatoLeido = Conexión.Recibido
    Selección (DatoLeido)
      Caso "Hola"
        ConexiónEnviar = "Hola cliente"
      Caso "Adiós"
        ConexiónEnviar = "Hasta luego cliente"
      Caso "Led1_ON"
        GPIO.Led1 = 1
        ConexiónEnviar = "Led 1 encendido"
      Caso "Led1_OFF"
        GPIO.Led1 = 0
        ConexiónEnviar = "Led 1 apagado"
      Caso "Led2_ON"
        GPIO.Led2 = 1
        ConexiónEnviar = "Led 2 encendido"
      Caso "Led2_OFF"
        GPIO.Led2 = 0
        ConexiónEnviar = "Led 2 apagado"
      Caso "Led3_ON"
        GPIO.Led3 = 1
        ConexiónEnviar = "Led 3 encendido"
      Caso "Led3_OFF"
        GPIO.Led3 = 0
        ConexiónEnviar = "Led 3 apagado"
    Otros Casos
      ConexiónEnviar = "Comando no reconocido"
  Fin Selección
Fin Mientras
Fin Mientras
  
```

Fig. 9. Pseudocódigo del servidor creado en la Raspberry Pi modelo B.

### IV. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA

El objetivo del sistema es probar la conexión Wi-Fi de la Raspberry Pi para enviar y recibir datos hacia y desde un dispositivo inteligente con sistema operativo de Android. A continuación en las figuras 10 y 11 se puede observar el sistema de prueba implementado.

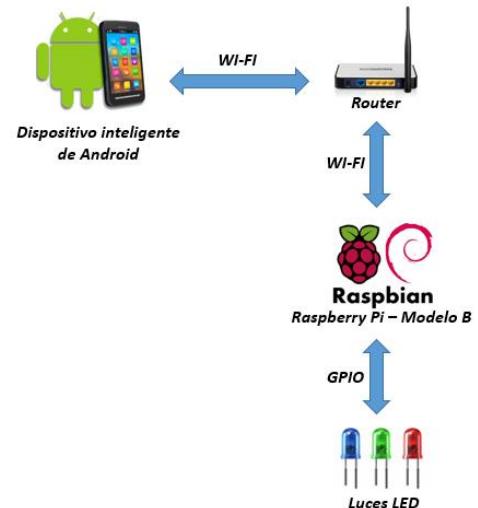


Fig. 10. Diseño del sistema creado para probar las salidas GPIO de la Raspberry Pi modelo B.

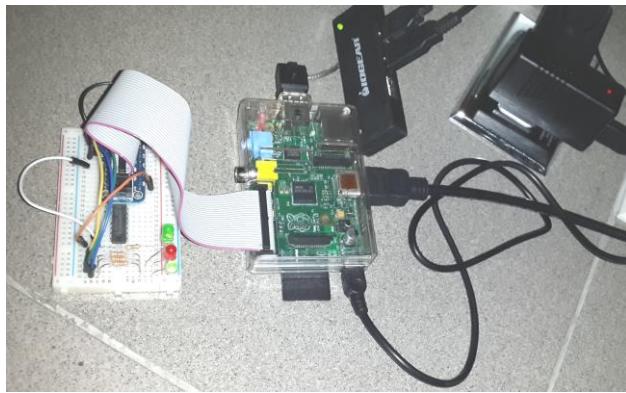


Fig. 11. Sistema implementado para probar las salidas GPIO de la Raspberry Pi modelo B

## V. PRUEBAS REALIZADAS

Las pruebas realizadas se centraron en verificar la correcta recepción de los mensajes en el servidor y el cliente mediante la conexión Wi-Fi, y también analizar el tiempo de respuesta en conexión y en el control del LED 1. Además se realiza una comparación de los tiempos de respuesta del sistema de prueba con respecto a un sistema creado con un servidor en una computadora de escritorio.

### A. Pruebas de conexión entre cliente y servidor

En la primera prueba se comprobó la conexión entre cliente y servidor. Para establecer dicha conexión con el servidor se envía un mensaje de “Hola” desde el cliente y el servidor responde “Hola cliente”, este mensaje devuelto por el servidor se visualiza en la parte inferior de la aplicación móvil. Si la conexión se establece sin problemas el pulsador se torna de color verde. De la misma forma si luego se finaliza la conexión el cliente envía un mensaje “Adiós”, el servidor responde “Hasta luego cliente” y el pulsador se torna de color rojo. La figura 12 muestra la interfaz gráfica al habilitar y deshabilitar la conexión entre cliente y servidor.

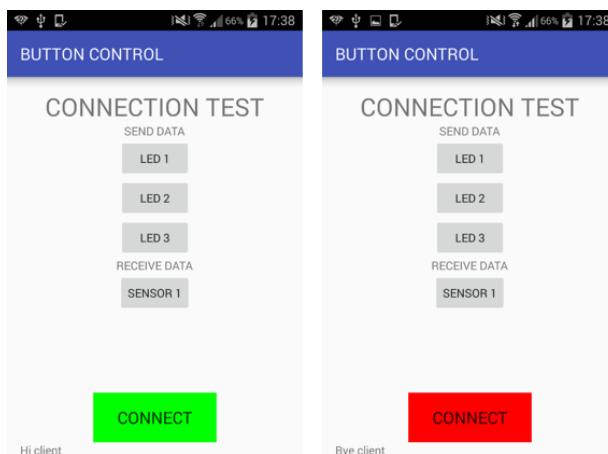


Fig. 12. Interfaz gráfica de la aplicación móvil que muestra el comportamiento del pulsador de conexión y el mensaje que devuelve el servidor en la parte inferior.

### B. Pruebas de control de las luces LEDS

La segunda prueba consistió en verificar si las luces LED eran encendidas y apagadas correctamente al enviar la respectiva cadena de caracteres. A parte de observar directamente el encendido y apagado del LED se recibe un mensaje de texto de retroalimentación desde el servidor. Si un LED es encendido el servidor envía un mensaje que indica el estado del mismo para que se pueda visualizar en la pantalla del dispositivo inteligente. Este mensaje se muestra en la parte inferior de la aplicación móvil de la forma como se observa en la figura 13.

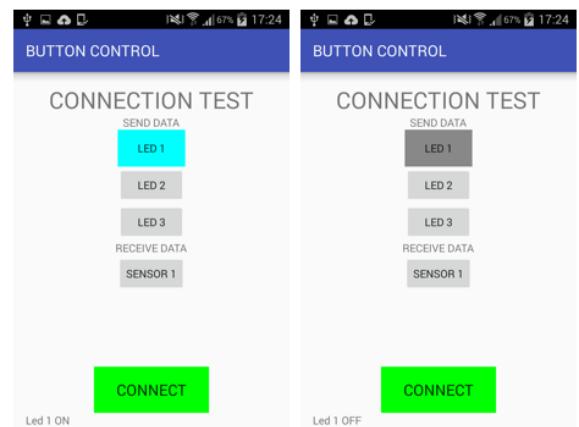


Fig. 13. Interfaz gráfica de la aplicación móvil que muestra el comportamiento del pulsador del LED 1 y el mensaje que devuelve el servidor en la parte inferior.

### C. Medición del tiempo de respuesta en conexión

Para medir el tiempo de respuesta se utilizó el método “currentTimeMillis()” de Java. Se obtuvieron datos de tiempo en milisegundos desde el momento en que se presiona el botón en pantalla hasta que se recibe la respuesta del servidor. La figura 15 muestra la forma como se midió el tiempo en el dispositivo móvil. Los datos de tiempo obtenidos fueron representados en la figura 14 utilizando Matlab.

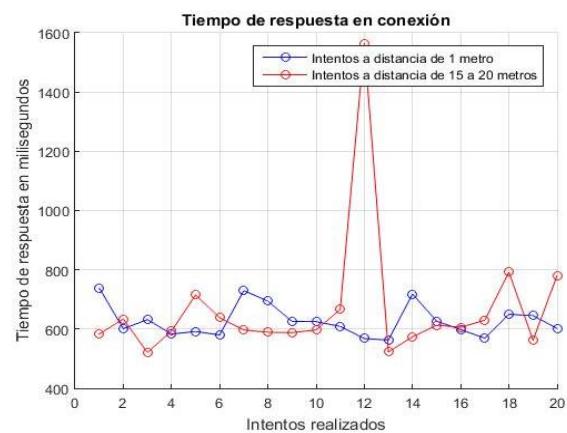


Fig. 14. Representación de los datos de tiempo de respuesta en conexión del sistema con servidor programado en la Raspberry Pi.

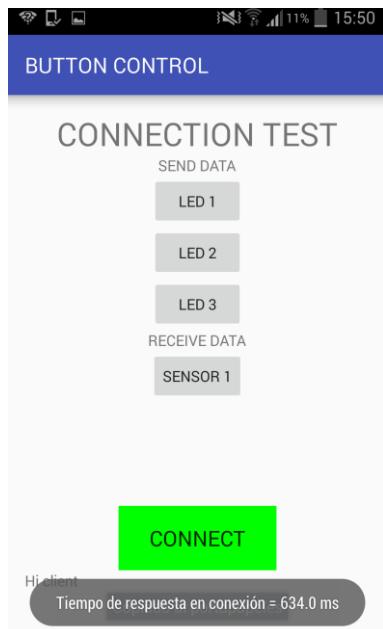


Fig. 15. Figura que muestra la forma como se obtuvo los tiempos de respuesta en la aplicación móvil.

#### D. Medición del tiempo de respuesta en el control del LED 1

De la misma forma como se obtuvieron los datos del tiempo de respuesta en la conexión se recogió los tiempos de respuesta en el control del LED 1. El tiempo de respuesta en el control del LED 1 se midió desde el momento en que se presiona el botón hasta cuando el servidor devuelve una respuesta al dispositivo móvil. Utilizando Matlab se consiguió la figura 16.

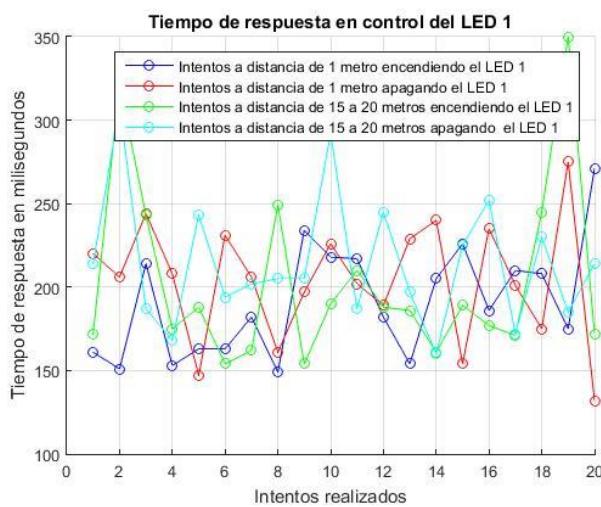


Fig. 16. Representación de los datos de tiempo de respuesta en el control del LED 1 del sistema con servidor programado en la Raspberry Pi.

#### E. Comparación del sistema con Raspberry Pi y un sistema con servidor en una computadora de escritorio.

Para hacer una breve comparación del sistema de prueba con un sistema diferente, se creó un servidor con Java en Eclipse. Utilizando la misma aplicación móvil y el mismo método comentado anteriormente para obtener la velocidad de comunicación entre servidor y cliente, se obtuvieron datos de tiempo de respuesta en diferentes intentos de conexión y control del encendido y apagado del LED 1. Las figuras 17 y 18 muestran el comportamiento del sistema creado con un computador de escritorio.

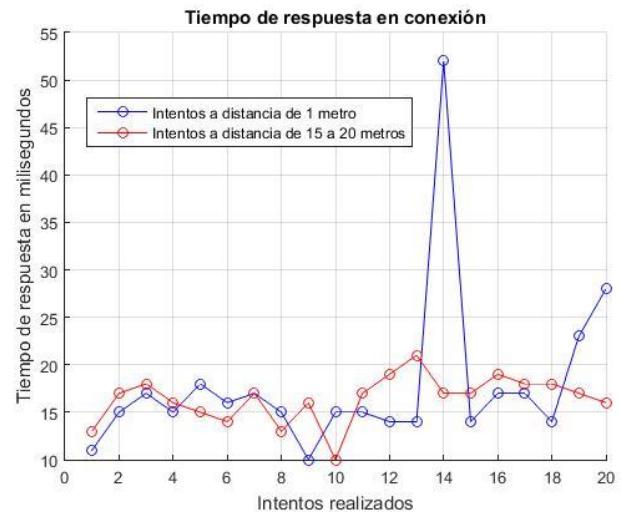


Fig. 17. Representación de los datos de tiempo de respuesta en conexión del sistema con servidor programado en una computadora normal de escritorio.

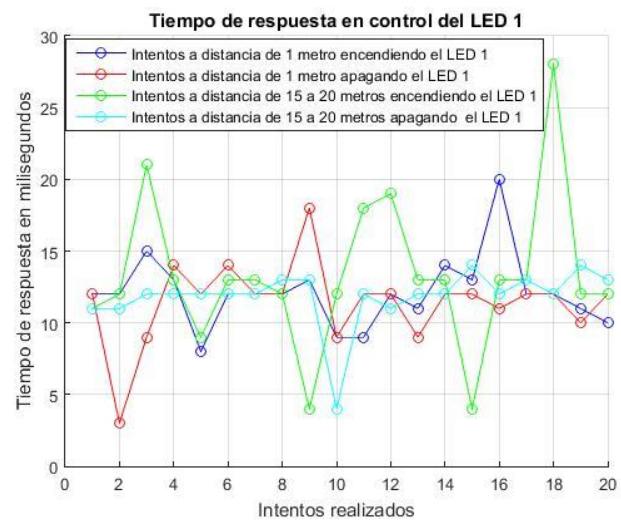


Fig. 18. Representación de los datos de tiempo de respuesta en el control del LED 1 del sistema con servidor programado en una computadora normal de escritorio.

Para realizar una comparación entre sistemas se obtuvo el promedio de tiempo de respuesta del sistema con servidor programado en una Raspberry (SRP) y del servidor programado en una computadora normal de escritorio (SCE). En conexión el promedio de tiempo de respuesta del SRP a un metro fue 627.55 ms y en el rango de quince a veinte metros se obtuvo 668.2 ms metros. En cambio, se puede observar una gran diferencia en tiempo de respuesta según el promedio en conexión a un metro de 17.85 ms y en quince a veinte metros de 21.87 ms del SCE.

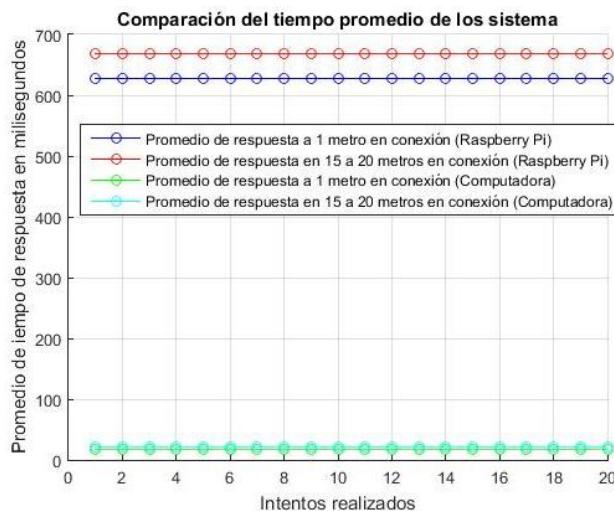


Fig. 19. Comparación de los promedios de tiempo de respuesta en conexión del sistema con servidor en una Raspberry Pi y en un computador de escritorio.

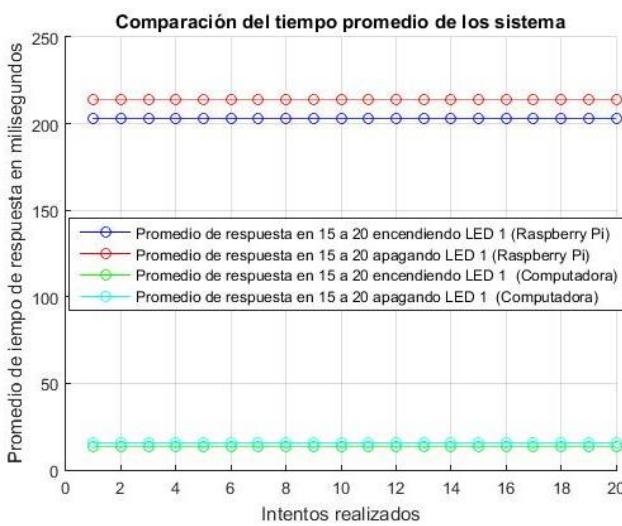


Fig. 20. Comparación de los promedios de tiempo de respuesta en el control del LED 1, con el sistema con servidor en una Raspberry Pi y en un computador de escritorio.

En el control de encendido del LED 1 con el SRP se obtuvo el promedio de tiempo de respuesta igual a 202.85 ms y en el apagado 214.25 ms en el rango de quince a veinte metros. Con el SCE se obtuvo un promedio 13.25 ms en encendido y 15.80 en el apagado en un rango de 15 a 20 metros. La diferencia de tiempo en encendido es 189.6 ms y en apagado de 198.45 ms entre sistemas, en cambio se puede apreciar una diferencia de tiempo de 646.33 ms en conexión con SRP y SCE. Las figuras 19 y 20 presentan los promedios de tiempo de respuesta en conexión y control del LED1.

## VI. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones se puede destacar el adecuado funcionamiento de la Raspberry Pi como servidor de un sistema de hogar inteligente. El tiempo de respuesta entre el cliente y el servidor casi siempre es menor a un minuto en la conexión y el control del LED 1 como se puede apreciar las figuras 14 y 16 de la sección 5, por lo que se podría decir que el control remoto es rápido y funcional. La comparación del sistema con servidor programado en una Raspberry Pi y un servidor programado en un computador de escritorio señalan que la diferencia en el tiempo de respuesta entre uno y otro es mínima en el control del LED con 189.6 ms en encendido y 198.45 ms en apagado, y aunque en la conexión hay una diferencia de casi medio segundo (646.33 ms) no sería muy importante ya que la conexión se realiza una sola vez y lo principal es el tiempo de respuesta en el control. Estas pruebas demuestran que se podría utilizar una tarjeta electrónica Raspberry Pi para reemplazar un computador de escritorio normal. El consumo de energía eléctrica se disminuiría con este sistema, y el costo para adquirir un sistema inteligente controlado por una Raspberry Pi también sería menor.

Se logró controlar sin problemas el encendido y apagado de un LED desde un dispositivo móvil al enviar comandos en cadenas de caracteres por conexión Wi-Fi hacia el servidor. El servidor pudo controlar las salidas GPIO de la Raspberry Pi de acuerdo al dato recibido por mensaje. Si se quisiera controlar un electrodoméstico bastaría con utilizar un relé como se mencionó en [7] para manejar un voltaje de 110 V AC.

El sistema de prueba diseñado en este trabajo presenta una interfaz gráfica creada con Android Studio que lo hace diferente de los trabajos analizados en el estado del arte. Como trabajos futuros quedaría probar el sistema desde una conexión remota a través de internet.

## REFERENCIAS

- [1] N. Agrawal and S. Singhal, "Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino," *Int. Conf. Comput. Commun. Autom.*, pp. 928–932, 2015.
- [2] M. M. A. Jamil and M. S. Ahmad, "A Pilot Study: Development of Home Automation System via Raspberry Pi," *Biomed. Eng. (ICoBE), 2015 2nd Int. Conf.*, no. March, pp. 30–31, 2015.
- [3] K. Rostyslav, S. Tkatchenko, and R. Golovatsyy, "Features home automation system development based Raspberry Pi using Java ME

- SDK,” in *Proceedings of 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015*, 2015, pp. 484–486.
- [4] C. C. Wei, Y. M. Chen, C. C. Chang, and C. H. Yu, “The Implementation of Smart Electronic Locking System Based on Z-Wave and Internet,” in *Proceedings - 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2015*, 2016, pp. 2015–2017.
- [5] C. Cheque, F. Baeza, G. Marquez, and J. Calderon, “Towards to responsive web services for smart home LED control with Raspberry Pi. A first approach.,” in *Proceedings - International Conference of the Chilean Computer Science Society, SCCC*, 2016, vol. 2016–Febru.
- [6] A. Wilde, O. Ojuroye, and R. Torah, *Prototyping a voice-controlled smart home hub wirelessly integrated with a wearable device*. IEEE, 2015.
- [7] S. Hidayat and S. F. Firmando, *Scheduler and Voice Recognition on Home Automation Control System*. IEEE, 2015.

# *Monitoring System of Environmental Variables Using a Wireless Sensor Network and Platforms of Internet of Things*

Manuel Quiñones-Cuenca<sup>1</sup>, Victor Gonzalez-Jaramillo<sup>2</sup>, Rommel Torres<sup>3</sup>, Miguel Jumbo<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica

<sup>2</sup>Departamento de Geología, Minas e Ingeniería Civil

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Técnica Particular de Loja, UTPL

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Loja

Loja, Ecuador

Email: (<sup>1</sup>mfquinonez, <sup>2</sup>vhgonzalez, <sup>3</sup>rovitor, <sup>4</sup>majumbo2)@utpl.edu.ec

**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 professional weather stations and is 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 relative error of 4.93%.

**Keywords**—environment; DigiMesh; IoT; weather stations; Wi-Fi; WSN.

## I. 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 factores propios de las ciudades o territorios.

Uno de los retos que deben soportar las Smart Cities 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 [1] y [2].

Las RSI o WSN (Wireless Sensor Network), están conformadas por nodos capaces de obtener información acerca de su entorno, son capaces de procesar y transmitir los datos mediante enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación [3]; cuentan con características como auto-diagnóstico, auto-configuración, auto-organización y restauración de los nodos que la conforman. Una RSI en general utiliza topologías dinámicas, inducidas por las fluctuaciones típicas de la propagación a través de un medio inalámbrico, y por los patrones necesarios para extender la vida útil de la red. Una configuración típica de las RSI está dada por nodos sensores que recolectan información, nodos intermedios que apoyan a la distribución de información (gateways) y una "estación base" donde la información transmitida es almacenada. [4], [2], [5] [6].

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. 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 Materiales y Métodos se plantea la arquitectura del prototipo, el hardware y las plataformas de IoT utilizadas. En la sección 3 se detalla la

implantación del prototipo de una RSI con la transmisión de datos a plataformas IoT y en la sección 4 los resultados obtenidos mediante un análisis de los datos. Finalmente se presentan las Conclusiones de la investigación.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

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. En la figura 1 se puede ver el listado de las variables a utilizar en el prototipo.

La segunda fase, recolección de datos, en donde se realiza los diagramas de flujo 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. Las fases se resumen en la figura 1.

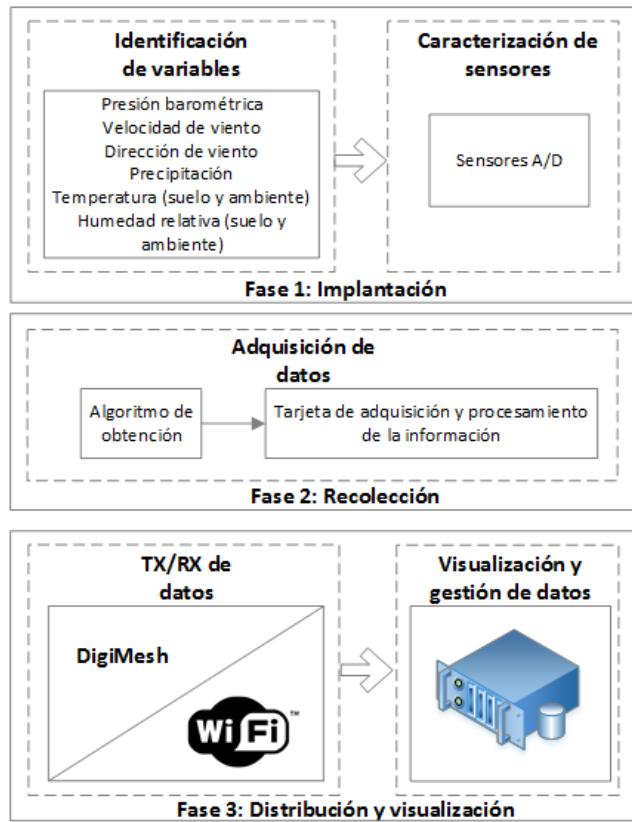


Fig. 1. Fases de desarrollo de proyecto.

### A. Arquitectura del sistema

Para la arquitectura del sistema se plantea usar dos variantes de RSI:

- La primera basada en DigiMesh, para la comunicación. Esta red se compone de nodos sensores y un nodo central que está conectado a una puerta de enlace (ver figura 2.a), este usa Wi-Fi para el reenvío de datos a plataformas de IoT (ver figura 2.c).
- La segunda donde los nodos usan Wi-Fi para la comunicación. Los nodos sensores integran las funcionalidades de adquisición de variables meteorológicas, procesamiento y la transmisión de datos directamente a las plataformas de IoT (ver figura 2.b). En esta variante se suprime el uso de los nodos centrales.

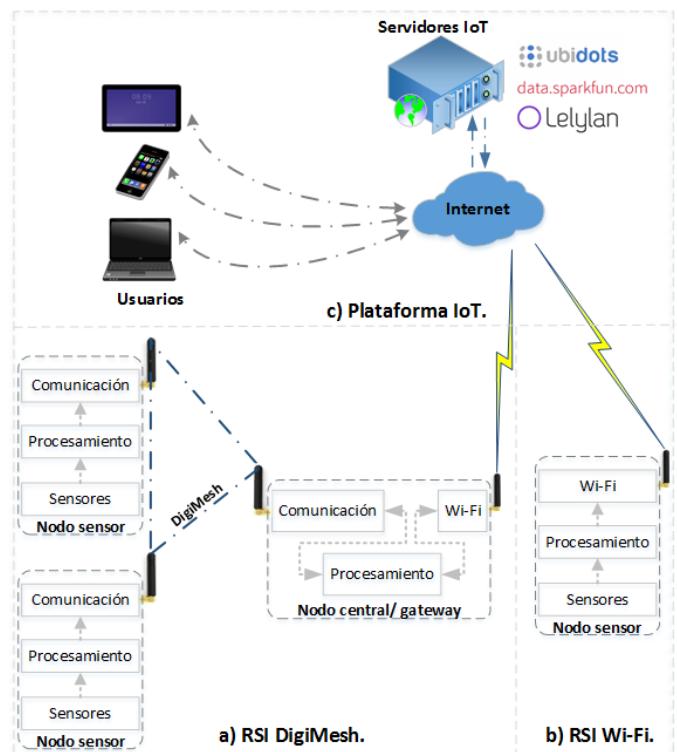


Fig. 2. Arquitectura del sistema.

**1) Nodos Sensores:** Los nodos sensores están formados por 3 módulos: sensores, procesamiento y comunicación (ver figura 3). 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.

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 [7].

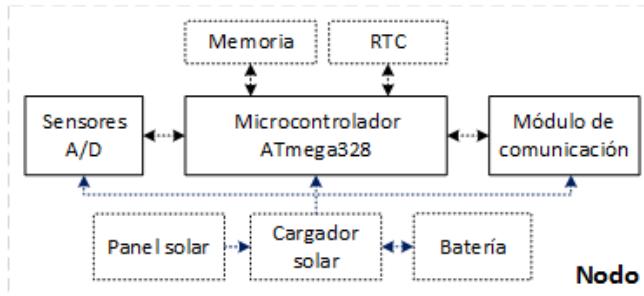


Fig. 3. Arquitectura del nodo sensor.

### B. Variables meteorológicas

Los nodos sensores obtienen los valores para las variables mínimas que han sido determinadas según la Organización Mundial de Meteorología (OMM) [8]. 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.

### C. Hardware

Los componentes de hardware usados para la implementación de los nodos prototipo se detallan en las siguientes secciones.

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.

TABLA 1: ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES.

Sensor	Dispositivo	Protocolo Comunic.	Rango de Medición	Exactitud
Anemómetro	SEN-08942		2,4-228km/h	
Veleta		I2C	0-360°	
Pluviómetro			0,2794mm	
Barómetro	MPL3115A2		20-110kPa	±0,4kPa
Temperatura ambiente			-40 a 80°C	±0,5
Humedad relativa ambiente	RHT03	1Wire	0-100%HR	±2%HR
Temperatura suelo		2Wire	-40 a 123°C	±0,5
Humedad relativa suelo	SHT10		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.

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.

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 2.a 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 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.
  - Antena dipolo de 3dBi para evaluar en ambiente de laboratorio. Para desplegar el sistema en un ambiente externo se usa antena Yagi de 14dBi para el nodo sensor y para el coordinador una antena omnidireccional de 8 dBi.

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.

### D. 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 [9].

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 [10], Phant [11] y Lelylan [12].

1) *Ubidots*: En la figura 10a 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 [13]. 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 los planes según sea necesario [14].

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).

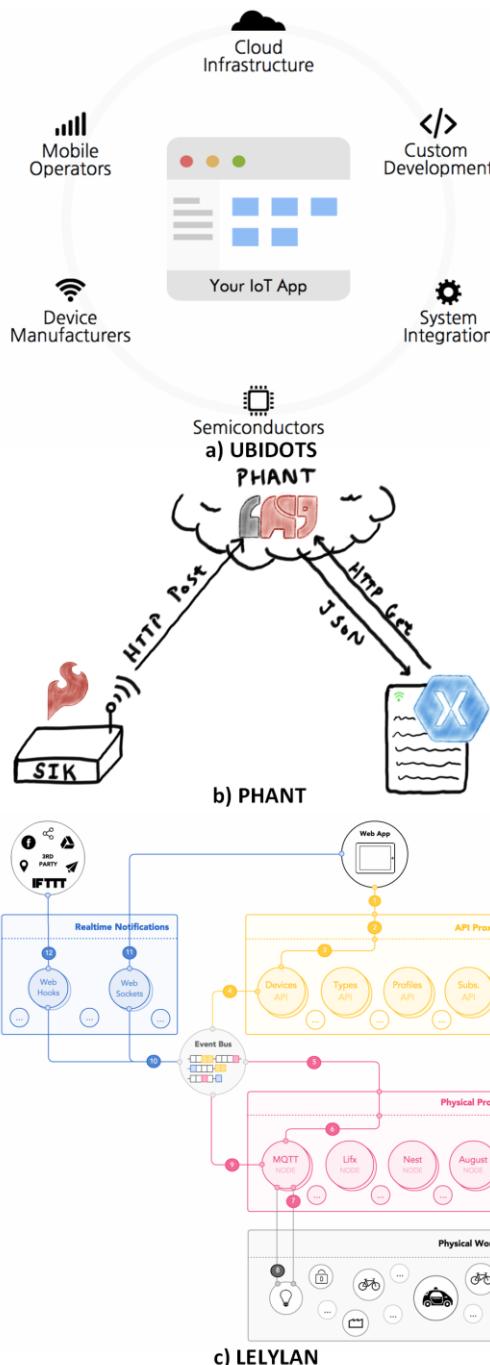


Fig. 4. Arquitectura de plataformas IoT.

2) *Phant*: Es una herramienta de código abierto de registro modular desarrollada por SparkFun Electronics para la recolección de datos de IoT [11]. 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. En la figura 10b se representa el funcionamiento de la plataforma Phant.

3) *Lelylan*: Es una API abierta y tiene un conjunto de herramientas que hacen que sea fácil conectar diversos dispositivos a la nube. Trabaja con el protocolo MQTT de mensajería que 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 [15]. Cualquier requerimiento enviado a la API de Lelylan es remitido al dispositivo físico, que aplica los cambios, envía una confirmación de que se han efectuado correctamente los mismos y publica datos desde el dispositivo, en la figura 10c se representa la arquitectura de esta plataforma [12].

### III. IMPLANTACIÓN DEL PROTOTIPO

#### A. Dimensionamiento de autonomía de energía

Para determinar el consumo de energía del prototipo (ver figura 5) se realizó las mediciones con un multímetro digital KEYSIGHT 3446. A continuación, se presentan los cálculos realizados para dimensionar la capacidad de la batería (considerando una autonomía de 2 días), el consumo energético que requieren los prototipos y el dimensionamiento del panel solar.

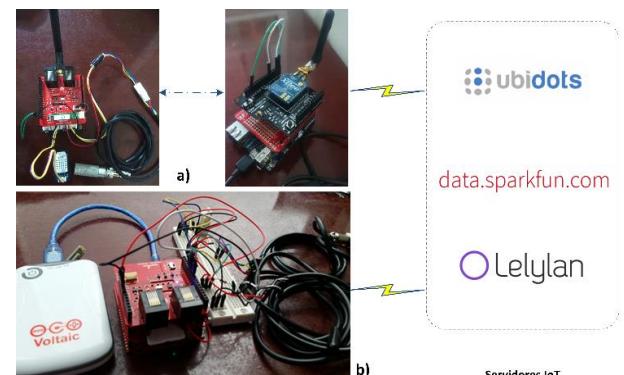


Fig. 5. Prototipos: a) RSI (nodo sensor y central/gateway) y b) Nodo sensor usando Wi-Fi.

1) *Estimación de consumo del nodo sensor*: En la tabla 1, se puede apreciar el consumo energético del prototipo de adquisición y transmisión (nodo final), y el requerimiento diario de potencia.

TABLA 1: REQUERIMIENTO DIARIO DE POTENCIA DEL NODO FINAL.

Prototipo	Consumo (mA)	Tiempo (s)	Potencia (mWh)	Pot. diaria (Wh/día)
Adquisición	60	30	204.30	4,90
Transmisión	70	2	16,17	0,388
Total				5,28

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%.

$$E_d = \frac{P_d}{\eta_{reg}} \quad (1)$$

$$E_d = \frac{5,28 \text{ Wh/día}}{0,95}$$

$$E_d = 5,55 \text{ Wh/día}$$

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,  $\eta_{reg}$  es la eficiencia del regulador en %.

En el dimensionamiento de la batería se considera la capacidad de almacenamiento, la profundidad de descarga, la autonomía y la capacidad útil [16]. La capacidad de almacenamiento de la batería, se determina con la ecuación (2).

$$C. \text{ alm. bat.} = \frac{E_d}{V_s} \quad (2)$$

$$C. \text{ alm. bat.} = \frac{5,55 \text{ Wh/día}}{3,7 \text{ V}}$$

$$C. \text{ alm. bat.} = 1,5 \text{ Ah/día}$$

Dónde:  $C. \text{ alm. bat}$  es la capacidad de almacenamiento de la batería en Ah/día y  $V_s$  es el voltaje de operación del sistema en V.

Con el valor de la capacidad de almacenamiento de la batería, se procede a encontrar la capacidad de la batería con la ecuación (3); tomando en cuenta el consumo diario de potencia que tendrá el prototipo de adquisición y transmisión. La profundidad de descarga de la batería es un valor en porcentaje, que expresa la energía que se obtiene de la batería plenamente cargada en una descarga. Una descarga excesiva de la batería limita el tiempo de duración de la misma [16]. Se sugiere un valor de profundidad de descarga de 0.85, que es el valor de descarga profunda para baterías de tipo LiPo. Igualmente, en la ecuación se considera la autonomía de la batería que expresa el número máximo de días secuenciales de consumo eléctrico que el sistema es capaz de satisfacer en condiciones desfavorables [16] [17].

$$Cn = \frac{1,1 \times E_d \times A}{V_s \times PD_{máx}} \quad (3)$$

$$Cn = \frac{1,1 \times 5,55 \times 3}{3,7 \times 0,85}$$

$$Cn = 5,82 \text{ Ah}$$

Dónde:  $Cn$  es la capacidad de la batería en Ah,  $A$  es la autonomía de la batería y  $PD_{máx}$  es la profundidad máxima de descarga de la batería.

La capacidad útil  $Cu$  de la batería (ver ecuación 4), es la capacidad utilizable en función de la profundidad de descarga máxima disponible [16].

$$Cu = Cn \times PD_{máx} \quad (4)$$

$$Cu = 5,82 \times 0,85$$

$$Cu = 4,95 \text{ Ah}$$

Dónde:  $Cu$ , es la capacidad útil de la batería en Ah.

La medición del consumo energético de las pruebas experimentales se realizó en intervalos de 30 s; el intervalo de tiempo de transmisión recomendado por la OMM [8] está entre 5 a 10 min. Con estos intervalos de tiempo en la transmisión el consumo de energía será menor, permitiendo incrementar la autonomía del prototipo.

2) *Estimación de consumo del nodo central:* El prototipo de nodo central se encarga de la recepción y de envío de datos al servidor IoT, el que tiene que estar activo mayor tiempo, ya que tiene la función de coordinador la RSI, por lo que debe presentar mayor disponibilidad, lo que implica un mayor consumo de energía. (Ver figura 6).



Fig. 6. Consumo de corriente del prototipo del nodo central.

Para conocer el consumo de energía que demanda este prototipo, se realizó las mediciones correspondientes, a partir de esto se muestra los resultados de los parámetros dimensionados en la sección anterior (ver tabla 2).

TABLA 2: REQUERIMIENTO DIARIO DE ENERGÍA Y PARÁMETROS ENERGÉTICOS DEL NODO COORDINADOR.

Prototipo	Requerimiento diario de energía			
	Consumo (mA)	Tiempo (s)	Potencia (mWh)	Pot. Diaria (Wh/día)
Activo	49	15	90,41	2,17
Recepción	130	10	170,3	4,08
Transmisión	165	2	43,96	1,05
Total			7,3	
Parámetros energéticos				
Pd (Wh/día)	Ed. (Wh/día)	Cb (Ah/día)	Cn (Ah)	Vs (V)
7,3	7,7	2,08	5,38	4,57
			A= 6	3,7

3) *Estimación de consumo del nodo sensor Wi-Fi:* En la tabla 3 se presenta el consumo de energía diario del prototipo, y los resultados obtenidos para el dimensionamiento de la batería y el consumo energético requerido por el prototipo.

TABLA 3. REQUERIMIENTO DIARIO DE ENERGÍA Y PARÁMETROS ENERGÉTICOS DEL NODO SENSOR USANDO WI-FI.

Prototipo	Requerimiento diario de energía			
	Consumo (mA)	Tiempo (s)	Potencia (mWh)	Pot. Diaria (Wh/día)
Adquisición	25	600	91,97	2,207
Transmisión	109	6	0,675	0,088
Total			2.295	
Parámetros energéticos				
Pd (Wh/día)	Ed. (Wh/día)	Cb (Ah/día)	Cn (Ah)	Vs (V)
2,295	2,415	0,6529	5,06	4,3
			A= 6	3,7

4) Dimensionamiento del panel solar: Para dimensionar correctamente el número de paneles solares y la capacidad necesaria de los mismos, se tomó como referencia parámetros el consumo diario de potencia de los prototipos (Wh/día) y la irradiación global diaria del lugar (kWh/m<sup>2</sup>/d). Se utilizó una metodología para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos, para determinar el panel solar y batería basada en [18] [19]. 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 [20], donde se ingresa las coordenadas de latitud y longitud de la ciudad de Loja.

Para determinar la inclinación del panel solar se necesita dos ángulos ( $\alpha$ ,  $\beta$ ); para optimizar el cálculo de la inclinación del panel  $\alpha$  se lo iguala a 0, en general los paneles solares deben estar orientados a la línea ecuatorial [18]. Para conocer las horas pico solar (HPS) en el lugar de interés (Loja-Ecuador), hay que tener en cuenta el ángulo de inclinación del panel. A continuación, se muestra todos los parámetros utilizados para el dimensionamiento del panel solar, estos datos se muestran en la tabla 4.

TABLA 4: PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL PANEL SOLAR.

Parámetros	Unidad	Valor
Constantes Solar ( $L_{cs}$ )	W/m <sup>2</sup>	1367
Día central del mes ( $d_n$ )	d	15
Corrección Excentricidad orbita ( $E_o$ )		1.319
Latitud	(°)	-3.98
Longitud ( $\phi$ )	(°)	-79.16
Angulo diario ( $\Gamma$ )	Rad	0.2409
Declinación Solar ( $\delta$ )		-0.3712
Angulo de salida del sol ( $\omega_s$ )	Rad	1.5978
Irradiación solar extra terrestre sobre superficie horizontal ( $G_{0d}$ )	kWh/m <sup>2</sup> /d	13.3551
Irradiación global diaria promedio mensual en una superficie horizontal ( $G_d$ )	kWh/m <sup>2</sup> /d	5.07
Índice de transparencia atmosférica ( $K_d$ )		0.3796
Irradiación difusa en la superficie horizontal ( $D_d$ )	kWh/m <sup>2</sup> /d	2.475
Irradiación directa en superficie horizontal ( $I_d$ )	kWh/m <sup>2</sup> /d	2.5942
<b>Factor de corrección geométrico (<math>R_b(\beta)</math>)</b>		
Radiación directa en plano inclinado $\beta$ ( $I_d(\beta)$ )	kWh/m <sup>2</sup> /d	
Radiación difusa en plano inclinado $\beta$ ( $D_d(\beta)$ )	kWh/m <sup>2</sup> /d	
Radiación difusa en plano inclinado $\beta$ ( $G_d(\beta)$ )	kWh/m <sup>2</sup> /d	

Con los resultados obtenidos de la capacidad de almacenamiento de la batería mínima requerida (ver tabla 5), se determinó que se debe usar baterías de LiPo de 6600 mAh a 3.7V. Además, en base al dimensionamiento del panel solar se utilizó uno de 5.2 W (el mínimo requerido es de 3.2W). 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 7). Este componente permite obtener eficientemente la energía del panel solar.

TABLA 5: RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL PANEL SOLAR, INCLINACIÓN Y HPS.

Parámetros	RSI DigiMesh		
	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 (°)	30	30	30
Hora pico solar (HPS)	3.92	3.92	3.92



Fig. 7. Componentes del sistema de abastecimiento de energía solar: a) Batería LiPo, b) cargador solar y c) panel Solar.

### B. 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 [21] (ver figura 8).



Fig. 8. Implementación de nodo.

Tomando en cuenta las recomendaciones que pone a consideración la OMM [8], el prototipo se instala en un campo abierto dentro del campus universitario de la UTPL (ver figura 9).



Fig. 9. Despliegue de la RSI: a) Ubicación nodo sensor y central, b) Nodo sensor junto a una estación meteorológica Davis Vantage Pro y c) Nodo central.

Para la obtención de las variables meteorológicas en tiempo real se usa la RSI basado en DigiMesh. Durante tres días se

realiza una evaluación del sistema desde el 5 al 8 de diciembre del 2015. En la figura 10 se muestran los datos obtenidos de los sensores.

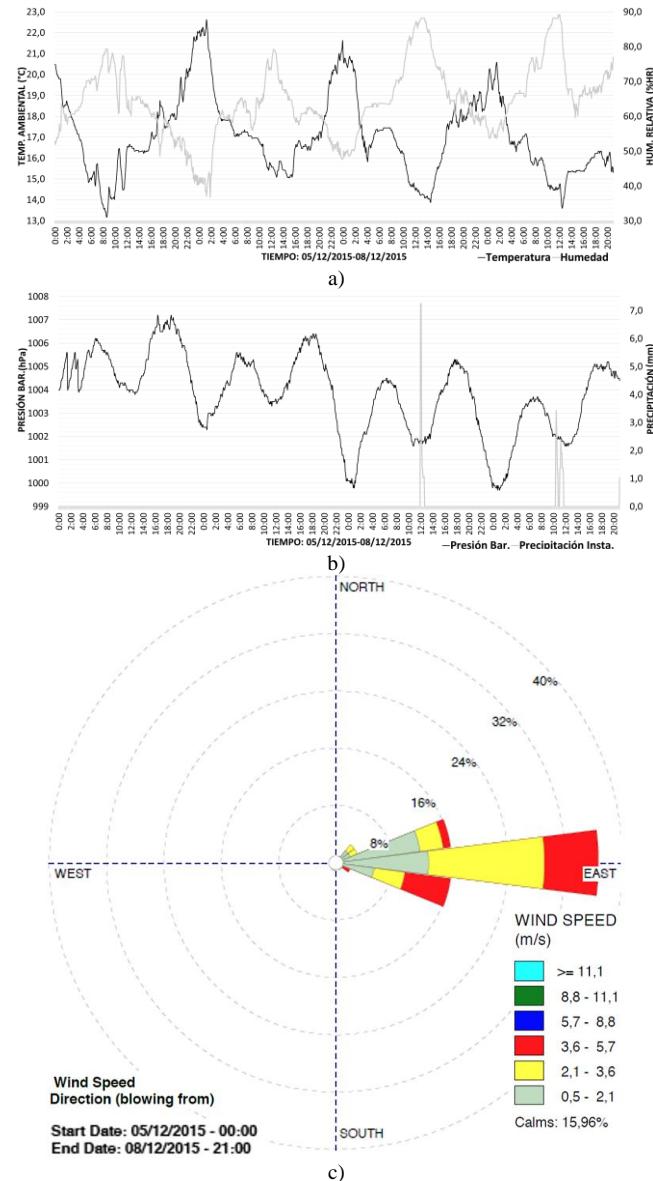


Fig. 10. Resultados obtenidos: a) temperatura y humedad relativa ambiental y b) presión barométrica y precipitación instantánea y c) rosa de vientos.

### C. Visualización de datos en plataformas IoT

En la figura 11 se muestra la publicación de los datos recolectados por el prototipo desplegado en los servidores de Ubidots, Lelylan y DataSparkfun (Phant).

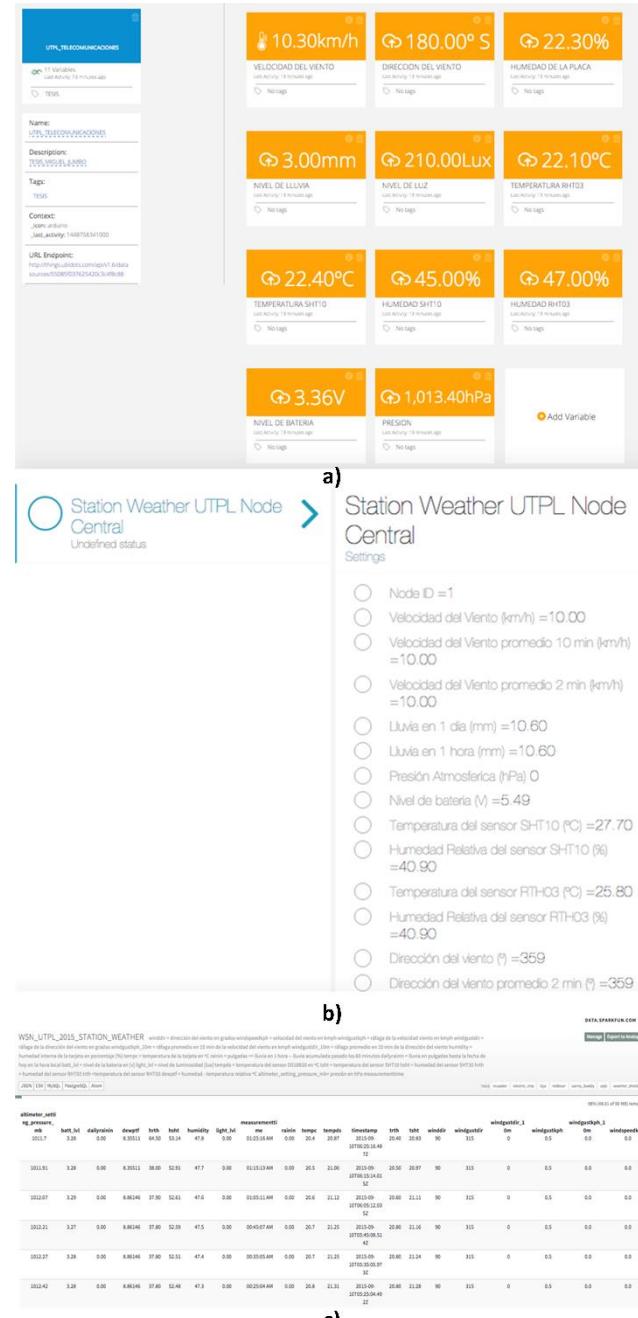


Fig. 11. Publicación de datos obtenidos de la estación meteorológica: a) Ubidots, b) Lelylan y c) DataSparkfun.

## IV. RESULTADOS

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 9b). El análisis corresponde a determinar el error relativo entre los grupos de datos. Estos datos corresponden a un conjunto de 89 muestras realizadas el 6 de diciembre desde las 18:30 a 1:55 del 7 de diciembre de 2015.

En la figura 12a se muestra la gráfica de los datos correspondientes a la temperatura ambiental y el error relativo. Obteniendo un error máximo de 4,1 %. En la figura 12b se

muestra la humedad ambiental y el error relativo. El error máximo es de 5,2%.

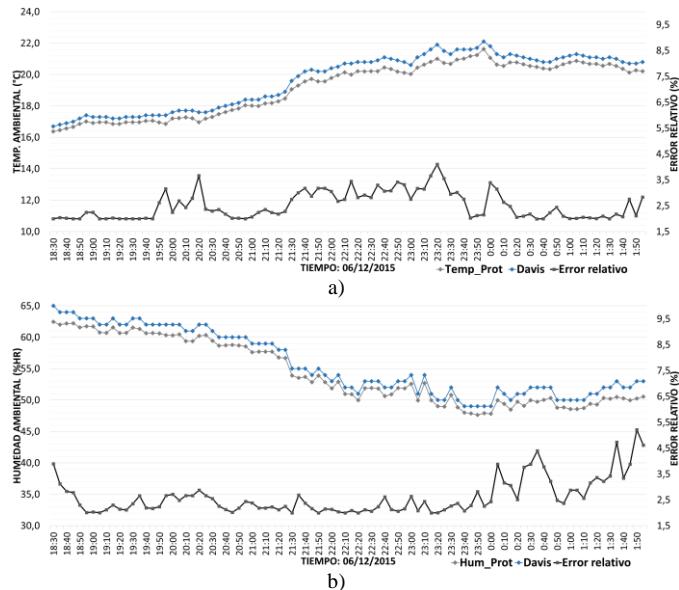


Fig. 12. Análisis de datos: a) Temperatura ambiental y error relativo y b) Humedad ambiental y error relativo.

Para las variables restantes los errores relativos promedios se hallan entre 0.11% y 4.93% (ver figura 13).

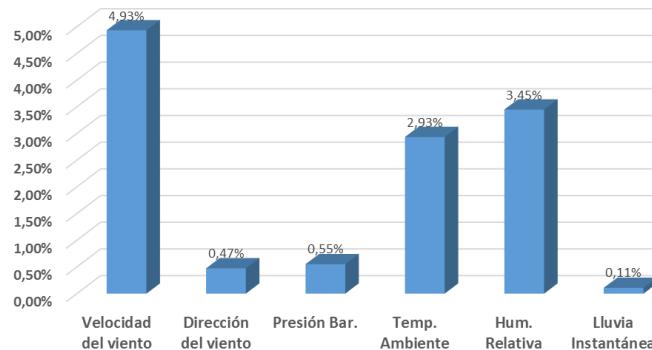


Fig. 13. Error relativo promedio de variables medioambientales.

## V. CONCLUSIONES

El sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos se desplegó usando plataformas hardware y software abiertas, conformada por un nodo sensor y un nodo central. Además, como pruebas previas a la construcción de la red, se diseñaron dos nodos recolectores de datos independientes, que sirvieron para comprobar el funcionamiento de los sensores y el funcionamiento de envío de información a plataformas IoT; teniendo como parámetros mínimos de medición las variables meteorológicas recomendadas por la OMM.

El prototipo fue diseñado empleando componentes de bajo costo que cumplen con las recomendaciones de la OMM; y, permite la integración de más módulos de sensores o de comunicación, para incrementar las funcionalidades del prototipo, empleando protocolos estándares permitiendo escalabilidad y reconfiguración. Además, cuenta con un sistema

de abastecimiento de energía solar y de almacenamiento, garantizando su funcionamiento autónomo; e incluye la transmisión de datos en tiempo real usando tecnologías inalámbricas.

## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo se desarrolló bajo el auspicio del Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado CEDIA, en el marco del Proyecto desarrollado por el Grupo de Trabajo de Infraestructura de Datos Espaciales, sub-proyecto Sensores, en colaboración con la Universidad Técnica Particular de Loja, V convocatoria de Proyectos Internos 2015, Proyecto PY1871.

## REFERENCIAS

- [1] R. Faludi, *Building wireless sensor networks*. Beijing: O'Reilly, 2011.
- [2] C. Lin, V. Zadorozhny, P. Krishnamurthy, H. Park and C. Lee, "A Distributed and Scalable Time Slot Allocation Protocol for Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 4, pp. 505-518, 2011.
- [3] M. Harris, "A Web of Sensors Enfolds an Entire Forest to Uncover Clues to Climate Change", *IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News*, 2016. [Online]. Available: <http://spectrum.ieee.org/green-tech/conservation/a-web-of-sensors-enfolds-an-entire-forest-to-uncover-clues-to-climate-change>. [Accessed: 04- Oct- 2016].
- [4] A. Ghosh, A. Srivastava, A. Patidar, C. Sandeep and S. Prince, "Solar Powered Weather Station and Rain Detector", 2013 Texas Instruments India Educators' Conference, 2013.
- [5] Bin Xiao, Hekang Chen and Shuigeng Zhou, "Distributed Localization Using a Moving Beacon in Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 19, no. 5, pp. 587-600, 2008.
- [6] A. Moreno, A. G. A. Mujika and Á Segura, "Visual analytics of multi-sensor weather information georeferenciation of Doppler weather radar and weather stations," *Information Visualization Theory and Applications (IVAPP)*, 2014 International Conference on, Lisbon, Portugal, 2014, pp. 329-336.
- [7] C. Perera, C. Liu and S. Jayawardena, "The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey", *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 585-598, 2015.
- [8] Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos, [online]. OMM, Ginebra, 2010. Disponible en: [http://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_8-2014\\_es.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8-2014_es.pdf)
- [9] B. Wong and B. Kerkez, "Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services", *Environmental Modelling & Software*, vol. 84, pp. 505-517, 2016.
- [10] Ubidots, [Online]. Ubidots.com, 2016. Disponible en: <http://ubidots.com/>
- [11] Documentation, Phant.io, 2016. [Online]. Disponible en: <http://phant.io/docs/>
- [12] Lelylan Dev Center. Building the Connected Home, Dev.lelylan.com, 2016. [Online]. Disponible en: <http://dev.lelylan.com/>
- [13] Ubidots API Documentation, Ubidots.com, 2016. [Online]. Available: [http://ubidots.com/docs/get\\_started/overview.html](http://ubidots.com/docs/get_started/overview.html).
- [14] L. Bolívar and G. Alexandre da Silva, "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), 2015.
- [15] M. Asghar and N. Mohammadzadeh, "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), 2015.

- [16] V. P. Quezada Patiño, L. E. Morales Arciniega y L. A. Riofrío Peña, "Diseño y fabricación de un equipo portable para provisión de energía eléctrica basado en el aprovechamiento de energía solar, orientado a aplicaciones de camping" Proyecto de titulación, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. 2013.
- [17] Polymer Li-ion Battery Technology Specification, [online]. PKCELL, 2016. Disponible en: <https://onedrive.live.com/view.aspx?resid=2D70C2BC5E5FDA0C!9922&iithint=file%2cpdf&capp=WordPdf&authkey=!AJE2X-TFsbt7zMT8>
- [18] L. Prat, "Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos" [online]. Universitat Politècnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería Electrónica, España. Disponible en: [http://dataoteca.unad.edu.co/contenidos/358054/dimensionado\\_sistema\\_fotovoltaico.pdf](http://dataoteca.unad.edu.co/contenidos/358054/dimensionado_sistema_fotovoltaico.pdf)
- [19] J. Aguilera y L. Hontario, "Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos" [online]. Departamento de Electrónica, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén, España, 2011. Disponible en: <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>
- [20] Paul W. Stackhouse, "NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data" [online]. NASA, 2015. Disponible en: <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>.
- [21] P. Kuppusamy, "Smart Home Automation using Sensors and Internet of Things", Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities, vol. 6, no. 8, p. 2642, 2016.

# 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  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 UTE  
 Quito-Ecuador  
[rodrigo.proano@ute.edu.ec](mailto:rodrigo.proano@ute.edu.ec)

Ciro Napoleón Saguay Chafla  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 UTE  
 Quito-Ecuador  
[csaguay@ute.edu.ec](mailto:csaguay@ute.edu.ec)

Segundo Bolívar Jácome Canchig  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 UTE  
 Quito, Ecuador  
[sbolivar.jacome@ute.edu.ec](mailto:sbolivar.jacome@ute.edu.ec)

Fanny Sandoval Zambrano  
 Universidad Tecnológica Equinoccial  
 UTE  
[fanny.sandoval@ute.edu.ec](mailto:fanny.sandoval@ute.edu.ec)  
 Quito, Ecuador

**Resumen —** Cuando el auditor informático emite una opinión sobre algún hallazgo, hay muchos factores que pueden influir para que la opinión sea errada, incluyendo aspectos emocionales o capacidades y habilidades técnicas; en estas circunstancias, el uso de sistemas basados en conocimiento ayuda a eliminar la subjetividad planteada. El uso de estos sistemas presenta un futuro bastante prometedor en el campo de la auditoría informática

**Palabras Clave -** auditoria de sistemas; sistemas basados en conocimiento; sistemas expertos.

**Abstract —** When the computer auditor issues an opinion on any findings, there are many factors that can influence the opinion to be wrong, including emotional aspects or capabilities and technical skills; in these circumstances, the use of knowledge based systems helps eliminate subjectivity raised. The use of these systems has a very promising future in the field of computer audit

**Keywords -** audit systems; knowledge based systems; expert systems.

### I. 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 [1] 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 son [2]:

- 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, la auditoría es la “emisión de una opinión profesional de que un objeto en análisis presenta adecuadamente la realidad que pretende reflejar” [3]. La auditoría informática trata de “asegurar la salvaguarda de los activos de los sistemas de computadoras, mantener la integridad de los datos y lograr los objetivos de la organización en forma eficaz y eficiente.” [4] 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 diario vivir, 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 Inteligencia Artificial 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 se recurre a la inteligencia artificial para hacer máquinas o computadoras que puedan pensar y se comporten como un humano [5], 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.

## II. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO

### A. Sistemas basados en conocimiento

Los Sistemas Basados en Conocimiento presentan entre otras las siguientes propiedades fundamentales: [6]

- 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.

### B. Elementos de un Sistema Basado en Conocimiento

Una técnica de Inteligencia Artificial es el razonamiento basado en conocimiento, que conlleva a los Sistemas Basados en Conocimiento (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 [7] (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 logaría emitir una conclusión razonable a como sería el pensamiento de un humano. Los principales elementos de un SBC son:

- a. Base de conocimiento

La base de conocimiento contiene los conocimientos sobre un determinado problema, los cuales se representan normalmente usando lógica de predicados o lógica proposicional, los mismos se clasifican en hechos, heurísticas y reglas [8].

Un hecho es una expresión que normalmente tiene asociado un valor verdadero y que se la puede ver como una expresión de la forma Si - condición entonces –enunciado [7]. Por Ejemplo:

- *Si no existe respaldos entonces hay riesgo de pérdida de información.*

La heurística, que es la forma de llegar a una solución por métodos no rigurosos en este caso obtenida por la experiencia del auditor y las reglas o relaciones que vinculan los hechos. No existe una única heurística.

### b. Motor de inferencia

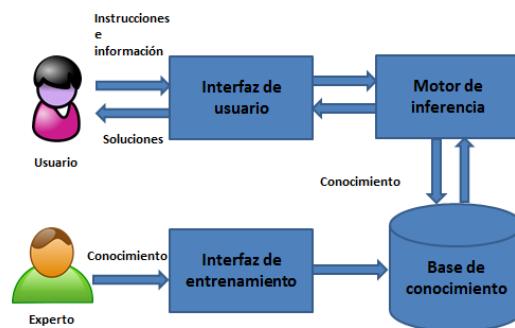
El motor de inferencia explora la base de conocimiento con el propósito de obtener una salida. En este motor se implementa el método de resolución que utilizando los hechos, las reglas y las heurísticas, decide las acciones a tomar para llegar a una solución [6].

### c. Interfaz

Evidentemente para que el SBC pueda interactuar con el usuario, es necesario dotarlo del respectivo interfaz de entrada/salida.

Un elemento adicional que no siempre está presente en un SBC es un interfaz de aprendizaje o entrenamiento por medio del 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 sistemas basados en conocimiento se utilizan para la resolución de problemas donde por la complejidad de los mismos, no es posible utilizar las técnicas convencionales debido a que el esfuerzo y el consumo de recursos son representativos en tiempo, memoria y procesamiento.



**Figura 1:** Esquema general de los elementos que forman un SBC.

### III. METODOLOGÍAS PARA DESARROLLO DE SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO

El problema de desarrollar Sistemas Basados en Conocimiento ha sido tratado con el uso de distintos métodos, así se puede mencionar algunos de ellos [6]: 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. MYCIN desarrollado en 1984 por Buchanan y Shotliffe empleado para diagnóstico médico. XCON/R1 propuesto por Barker y O'Conner en 1989. POLITE propuesto por Edwards en 1991, KADS por Wielinga y otros en 1992.

En los últimos años surgen algunos modelos basados en metodologías de desarrollo en espiral las cuales proponen el desarrollo del sistema en ciclos que contendría las siguientes etapas:

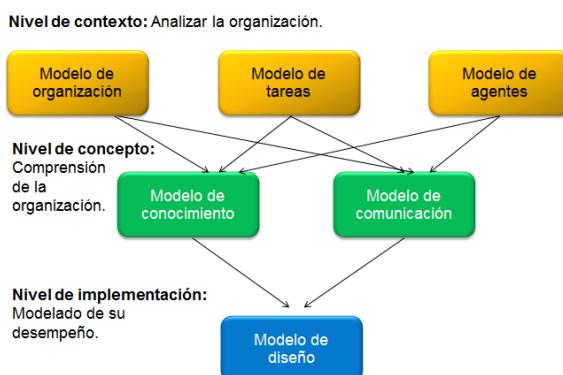
- Definición de objetivos.
- Valoración de riesgos.
- Desarrollo del SBC.
- Planificación para un nuevo ciclo de depuración.

Bajo estos puntos de vista, surgen algunas metodologías así: KSM, que tiene como característica el uso de modelos genéricos que pueden ser reutilizados sin mucha dificultad.

CommonKADS, la cual es una mejora de la tecnología KADS (Knowledge Acquisition and Design Structuring), la cual ha sido desarrollada en las universidades de Amsterdam, Países Bajos y Bruselas como parte del proyecto europeo SPRIT, la cual considera 3 niveles para el desarrollo de un SBC:

1. Nivel de Contexto: nivel en el cual se analiza la organización.
2. Nivel de Concepto: nivel en el cual se comprende la organización.
3. Nivel de Implementación: nivel en el cual se modela la organización.

La figura 2 muestra los tres niveles con los distintos modelos en cada nivel:



**Figura 2:** Niveles considerados por el modelo CommonKADS para desarrollo de un SBC. [9]

Esta metodología es en la actualidad la más completa ya que considera todos los aspectos a considerar para el desarrollo exitoso de un SBC.

### IV. SISTEMAS EXPERTOS USADOS EN AUDITORÍAS DE SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN.

Los sistemas expertos (SE) son un tipo de SBC que intentan actuar o comportarse en todo aspecto como un humano [7]. 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 es la base de conocimientos, la cual debe ser cuidadosamente diseñada y construida para que refleje el dominio del problema a analizar [10], 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:

- Desarrollo del glosario de términos.
- Definición de relaciones jerárquicas, y equivalencias para estructurar el diccionario basado en conceptos.
- Identificación de axiomas.

Para el desarrollo de la base de conocimiento se pueden usar algunas fuentes de conocimiento, entre las cuales se mencionan:

- 1) Modelo del sistema derivado del proceso de modelado de la base de conocimiento.
- 2) Documentación y procesamiento de seguridades de información que pueden provenir de estándares de seguridad como ISO 27002.
- 3) El conocimiento de expertos en el área, en este caso de seguridades de la información.

#### Transformación en un Modelo de conocimiento

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 y sus relaciones

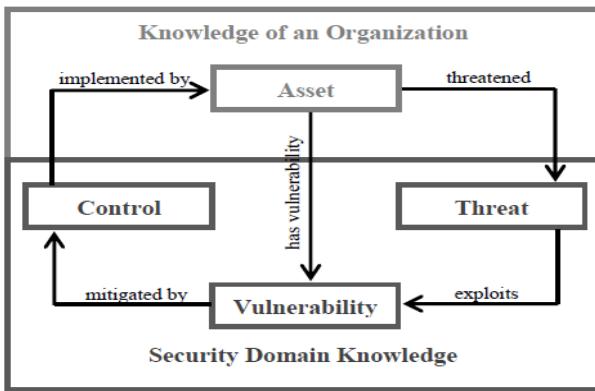


Figura. 3 modelo de la base de conocimiento. [2]

Sin importar la metodología de evaluación de seguridades de información que se utilice, los conceptos manejados aquí son:

Riesgo: Es la “combinación de la probabilidad de un evento y sus consecuencias.” [11]

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.”[11]

Vulnerabilidad: Es una “debilidad física, técnica o administrativa que puede ser explotada por una amenaza.”[11]

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 amenazas ponen en riesgo los activos de la organización.
- 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.

#### Evaluación de riesgos.

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 [12].

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, entre los cuales se pueden mencionar algunos de ellos [13] como ejemplo.

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 evalúa 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'Leamy, 1987b; 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.

Tabla. 1 Aplicación de sistemas expertos en la auditoría, contabilidad y análisis financiero

## V. CONCLUSIONES

- 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.

- A través de estas técnicas, se propone fomentar la investigación y el aporte de la Inteligencia Artificial en los procesos de auditoría informática.

- [2] E. Granados, [www.unicauc.edu.co](http://www.unicauc.edu.co). Obtenido de [www.unicauc.edu.co](http://www.unicauc.edu.co): <http://www.unicauc.edu.co>, Julio 2016
- [3] M. Piattini, E. Del Peso, "Auditoría Informática, Un enfoque práctico". México D.F.: AlfaOmega., 2001.
- [4] J. Echenique, "Auditoría en Informática". México D.F.: McGraw-Hill, 2001.
- [5] M. Agarwal, [www.ieee.org](http://www.ieee.org). Obtenido de <http://www.ieee.org>: <http://www.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6909306>, Junio 2016
- [6] J. Palma, y R. Marín, "Inteligencia Artificial: Métodos, técnicas y aplicaciones". Madrid: McGraw-Hill, 2008.
- [7] A. García, "Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones". México D.F.: AlfaOmega, 2013.
- [8] D. Montoya, J. Giraldo, [www.iis.org](http://www.iis.org). Obtenido de International Institute of informatics and systemics: <http://www.iis.org>, Julio 2016
- [9] A. Chávez, [es.slideshare.net/uni\\_fcys\\_sistemas/metodologa-commonkads](http://es.slideshare.net/uni_fcys_sistemas/metodologa-commonkads). Obtenido de slideshare.net: Obtenido de [http://es.slideshare.net/uni\\_fcys\\_sistemas/metodologa-commonkads](http://es.slideshare.net/uni_fcys_sistemas/metodologa-commonkads), Julio 2016
- [10] L.B. Atymtayeva, G.K. Bortsova, A. Inoue, A., y K Kozhakmet, "Methodology and ontology of expert system for information security audit". 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS) (pág. 238). Kobe, 2012
- [11] ISO/IEC. [www.iso.org](http://www.iso.org). Obtenido de iso.org: <https://www.iso.org>, Julio 2016
- [12] S. Elky, [www.sans.org](http://www.sans.org). Obtenido de sans.org: <http://www.sans.org> - 1204, Agosto 2016
- [13] L. Bonilla, "Inteligencia Artificial aplicada en la Prevención y Detección de Lavado de activos y Financiamiento del Terrorismo, Mayo 2014.

#### REFERENCIAS

- [1] R. Moeller, "IT Audit, Control, and Security". New York: John Wiley & Sons, 2010

# *Estimating sample size for usability testing*

Alex Cazañas, Andre de San Miguel  
 University of Queensland  
 Brisbane, Australia  
 {alex.cazanasgordon, andre.desanmiguel }  
 @uqconnect.edu.au

Esther Parra  
 Escuela Politécnica Nacional  
 Quito, Ecuador  
 esther.parra@epn.edu.ec

**Abstract—** One strategy used to discover user interface requirements is the conduct of usability testing. However, when conducting such testing one of the unknowns is how much testing should be done? Since conducting extensive testing is costly, reducing the number of tests 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 sample size. Several studies claim that 3 to 5 users suffice to uncover 80% of problems in a software interface, however is this enough? This study uses data collected from the user testing of a web application in an attempt to verify these rules of thumb, collectively known as the “magic number five”. Analysis of the empirical data shows that the 5-user assumption significantly underestimates the number of users required to achieve reasonable levels of problem discovery.

**Keywords—** problem discovery; sample size; usability testing; human factor; computing system

## I. 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 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.

In general, usability testing comprises a wide variety of methods and applications. The standard for usability reports ANSI INCITS 354-2001 states that usability tests consist of three major elements; participants, tasks, and environments. In addition, at least one observer must monitor the process thoroughly [1]. As per its primary focus, usability testing can be summative, if the emphasis is on task measurements; or formative, when the motivation is problem discovery. This distinction plays a major role in selecting the method to estimate sample size in a usability test.

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 [2], Nielsen and Landauer [3], and Lewis [4] were the first to publish studies on methods for estimating sample size for problem discovery testing. Based on statistical modelling and empirical data, these authors proposed methods to estimate the size of the minimum sample required to reach a target rate of problem discovery in testing usability of software interfaces. Furthermore, they made three outstanding claims:

- 1) Most problems are discovered by the first four 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 five” have generated a great deal of discussion in usability evaluation communities, so much so that at the Computer-Human Interaction conference in 2003, a panel was dedicated to discussing this matter [5].

This paper will focus on and review the number of users necessary for problem discovery on the interface for a web application. As part of this analysis the 4±1 model for estimating the sample size required will also be reviewed.

## II. BACKGROUND

To determine how many users are required for usability testing, three studies were considered as candidates for the provision of a suitable base calculation template.

Virzi [2] 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 the three experiments, trained usability practitioners observed that the number of discovered problems depends on the number of participants in each experiment. The probability of discovering a problem (problem discovery rate) was computed for each participant as the quotient between the number of uncovered problems in a single session, and the total of unique problems in all sessions. The relationship between the number of participants and the discovery rate was modelled with the cumulative binomial probability formula, as follows

$$\text{Proportion of unique problems found} = 1 - (1-p)^n \quad (1)$$

Where  $p$  is the mean problem discovery rate, and  $n$  is the number of participants;  $p$  may be calculated across participants or problems.

Similarly, Nielsen and Landauer [3] used data derived from eleven usability tests, and a Poisson distribution to reach a similar model

$$\text{Number of unique problems found} = N(1 - (1-p)^i) \quad (2)$$

Where  $p$  is the problem discovery rate,  $N$  is the total number of problems, and  $i$  is the number of participants.

Both approaches determine the number of participants for a given  $p$  and an objective value of problem discovery rate or proportion of all problems to be found.

Lewis [4] applied the techniques used in [2] to empirical data from usability testing conducted on a piece of software for office applications. The findings of this study coincided with the results in [2]. Nevertheless, he encouraged caution with small-sample problem discovery estimation, recommending its application only “if the expected  $p$  is high, if the study will be iterative, and if undiscovered problems will not have dangerous or expensive outcomes” [4].

Nielsen and Landauer [3] reported that five users were enough to discover 75% of the problems when testing an interface, while Vizri [2] stated that four to five users are enough to determine 80% of problems in the interface under evaluation. Lewis [4] observed that five or four participants uncover more than 80% of problems, provided that the value of  $p$  is between 0.3 and 0.4.

The claims derived from the aforementioned studies have received plenty of attention from scholars and practitioners, in particular the so called, “magic number 5”. Several authors have challenged this claim regarding the soundness of modelling problem rate discovery with a single value for  $p$ . For instance, Woolrych and Cockton [6] contend that problems do not affect users uniformly, thus estimation based on problem frequency is misleading. Caulton [7] suggests 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 [8] responded to criticism of sample size formulae by providing a method to adjust the estimated average problem frequency. On the other hand, Hwang, and Salvendy [9] argue that  $10 \pm 2$  is a more general rule for optimal sample size than  $4 \pm 1$ .

### III. METHODOLOGY

Lewis [10] reviewed several calculation techniques and synthesized them into one technique he regarded as the most accurate, based on his empirical testing and literature review. As such, we will be using his calculation technique as the starting point for our analysis.

The steps required for this technique are as follows:

- Obtain data from user testing.

- Count unique and repeat problems identified by individual users.
- Calculate parameters and metrics from this data from which 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. Finally, this number is used to answer the question of whether the number of user tests undertaken suffices to identify the required number of problems.

To review the consistency of the parameters calculated we will be calculating the parameters required and results from two different datasets.

#### A. Data sources

To obtain data required for the proposed analysis, two datasets were sourced from two independent surveys of the interface of a web application. In both surveys, participants were requested to identify problems with the usability of the interface. In total, 34 different respondents participated in both surveys with 17 testers in each round. The second survey was undertaken two weeks after the first.

To prepare the user testing data set for parameter estimation, two passes were made over each set. The first pass was used to identify unique problems, which were then catalogued and numbered. Then, the second pass counted which users identified which problem or problems.

This process then resulted in a grid structure which shows the problem identification count for each successive user. An example of this structure can be seen in Table I.

This process also allows the identification of “repeat” problems i.e. those problems which are identified by more than one tester.

#### B. Parameter estimation

One of the outcomes available using the methodology provided by Lewis [10], is the calculation of two parameters  $n$  and  $p_{adj}$ , where:

$n$  is an estimate of how many testers are required to discover a given proportion of total problems, calculated using the formula in Virzi [2]:

$$n = \log(1 - \text{Goal}) / \log(1 - p_{adj}) \quad (3)$$

and  $p_{adj}$  is the problem occurrence which is calculated using the formula given in [10]:

$$p_{adj} = 1/2 [(p_{est} - 1/n)(1 - 1/n)] + 1/2 [p_{est} / (1 + GT_{adj})] \quad (4)$$

where  $n$  is the sample size used to compute the initial estimate of  $p$ , and  $GT_{adj}$  is the GT adjustment to probability space, which is the result of dividing the number of problems that occurred once by the number of different problems.

The calculation of  $p$  and  $n$  can then be performed for each successive data point on the problem count grid data table.

TABLE I. PROBLEM COUNT GRID FROM DATA-SET#2

Participant	Problem Id								Problem Count
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	-	-	-	-	-	-	2
2	-	-	-	-	-	-	-	-	0
3	-	-	-	-	-	-	-	-	0
4	-	1	-	-	-	-	-	-	1
5	1	1	-	-	-	-	-	-	2
6	-	1	1	-	-	-	-	-	2
7	1	-	-	-	-	1	-	-	2
8	-	1	-	-	1	-	-	-	2
9	1	1	-	-	-	-	-	-	2
10	1	-	-	-	1	-	-	1	3
11	1	-	-	1	1	-	1	1	5
12	1	1	-	-	-	-	1	-	3
13	-	1	-	-	-	-	-	-	1
14	1	-	-	-	-	-	-	-	1
15	-	-	-	-	-	-	-	-	0
16	1	-	-	-	-	-	-	-	1
17	-	1	-	-	-	-	-	-	1
Problem count	9	9	1	1	3	1	2	2	28

#### IV. RESULTS

The number of users required to uncover a given percentage of usability problems can be calculated for each number of user tests. Consequently, the aggregated computation across all user tests in both testing rounds created curves that provide the number of user tests required to accomplish a desired goal of problem discovery. Figures 1 and 2 show the estimate of the sample size required to detect 80%, 90% and 99% of problems in the interface under study. From the results of the first user test set (Figure 1), it can be seen that the estimated (mean) sample size required for a target of 80% of problem discovery is 19, with a standard deviation of 6.7, minimum of 5 and maximum of 26.

In the second round of testing, it can be seen that the estimated (mean) sample size required for a target of 80% of problem discovery is 9, with a standard deviation of 3, minimum of 4 and maximum of 18.

From the computed scores of the sample size of the two data sets, it is evident, that on average the size of the required sample to obtain an 80% of problem rate discovery is significantly larger than the value predicted by the  $4 \pm 1$  models.

#### V. DISCUSSION

There are two quite significant outcomes from the analysis conducted. The first brings into question the rules of thumb proposed by Virzi [2], Nielsen and Landauer [3], and Lewis [4], 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 ever 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 [4] on the variability problems associated with using small samples to estimate the number of samples required for the required level of problem discovery.

Even though the goal of Lewis's adjustments [10] 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, assuming that 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.

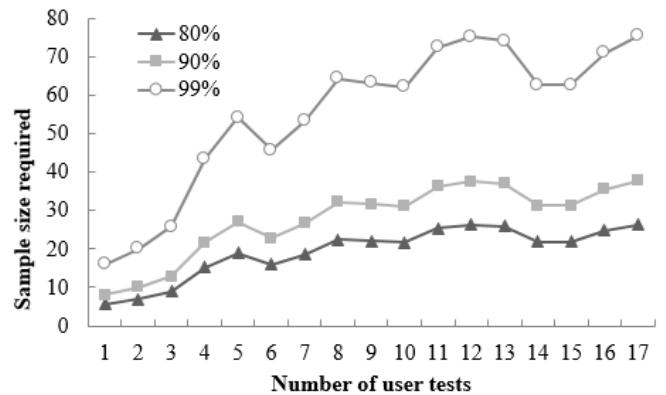


Fig. 1. Required Sample Size and Problem Discovery Rate from Data-Set #1.

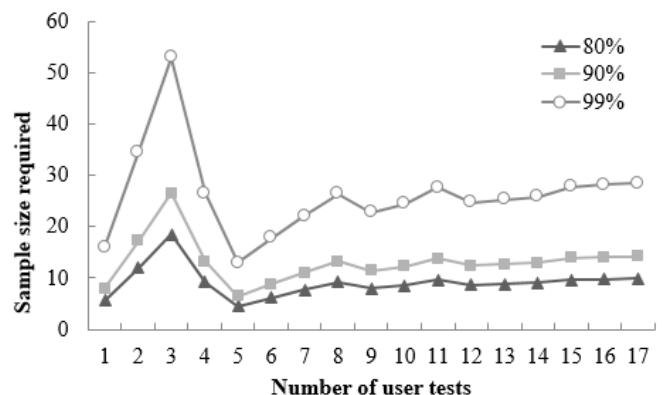


Fig. 2. Required Sample Size and Problem Discovery Rate from Data-Set #2.

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.

While the levels of the rules of thumb are questionable, given the results of our study, the variability measures are reasonably accurate. For Data-Set#1 once the curve had settled at the 80% and 90% problem discovery levels, the standard deviation of the results curve was 2-3, comparing favorably with the  $\pm 2$  value estimated by Hwang and Salvendy [8]. For Data-Set#2 the standard deviation is 0.8-1.0, which compares favorably with the  $\pm 1$  in the  $4\pm 1$  rule.

## VI. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Several studies [2], [3], [4], [7], [8], [9] suggest that when conducting user testing it is sufficient to use rules of thumb such as  $4\pm 1$  and  $10\pm 2$  to estimate the number of users required.

In our study, we discovered that the use of such rules of thumb would have significantly 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 12-13 and 30-40 respectively. This coincides with findings in [5], [6], [11], [12], and [13]. 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  $4\pm 1$  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  $4\pm 1$  and  $10\pm 2$  will also come into play, although we would suggest that the  $4\pm 1$  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.

## REFERENCES

- [1] ANSI , Common Industry Format for Usability Test Reports: ANSI INCITS 354-2001, Washington, DC: American National Standard Institute, 2001.
- [2] R. Virzi, «Refining the test phase of usability evaluation: How many subjects is enough?», *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 34, n° 4, pp. 457-471, August 1992.
- [3] J. Nielsen and T. Landauer, «A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems», de *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, Amsterdam, The Netherlands, 1993.
- [4] J. R. Lewis, «Sample sizes for usability studies: Additional considerations», *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 36, n° 2, pp. 368-378, June 1994.
- [5] N. Bevan, C. Barnum, G. Cockton, J. Nielsen, J. Spool and D. Wixon , «The "magic number 5": is it enough for web testing?», de *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '03)*, Ft. Lauderdale, Florida, USA, 2003.
- [6] A. Woolrych and G. Cockton, «Why and when five test users aren't enough», de *Proceedings of IHM-HCI 2001 conference*, Toulouse, FR, 2001.
- [7] D. Caulton, «Relaxing the homogeneity assumption in usability testing», *Behaviour & Information Technology*, vol. 20, n° 1, pp. 1-7, 2001.
- [8] C. Turner, J. Lewis and J. Nielsen, «Determining usability test sample size», *International encyclopedia of ergonomics and human factors*, vol. 3, n° 2, pp. 3084-3088, 2006.
- [9] W. Hwang and G. Salvendy , «Number of people required for usability evaluation: the  $10\pm 2$  rule», *Commun. ACM*, vol. 53, n° 5, pp. 130-133, 2010.
- [10] J. Lewis, «Evaluation of procedures for adjusting problem-discovery rates estimated from small samples», *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 13, n° 4, pp. 445-479, 2001.
- [11] J. Spool and W. Schroeder , «Testing web sites: five users is nowhere near enough», de *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Seattle, Washington, 2001.
- [12] L. Faulkner, «Beyond the five-user assumption: Benefits of increased sample sizes in usability testing», *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, vol. 35, n° 3, pp. 379-383, 2003.
- [13] G. Lindgaard and J. Chatratichart , «Usability testing: what have we overlooked?», de *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, San Jose, California, USA, 2007.

# Content Analysis: a Strategic Foundation to Improve the User Experience of a University Website

Gabriela Gaetán, Adriana Martín, Viviana Saldaño

Instituto de Tecnología Aplicada

Unidad Académica Caleta Olivia (UACO), Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA)

Caleta Olivia, Santa Cruz, Argentina

{ggaetan, amartin, vivianas}@uaco.unpa.edu.ar

**Abstract**— Users often have accessibility and usability problems with existing websites. In order to address these issues and improve user experience, good strategies for redesigning those sites are required. For this purpose, we conducted a redesign process whose first activity performs a complete usability and accessibility assessment of a university website. However, a crucial component for the redesign process is to identify the type of content that allows a website to improve the way of communication with its online audience. In this paper, we assess the current website content of Universidad Nacional de la Patagonia Austral, and also, we assess the content of similar university websites. Then, based on the analysis of results, we propose a strategic foundation that serves as a reference guide to develop a comprehensive content strategy.

**Keywords**—Content Strategy; User Experience; Usability; Web Accesibility

## I. INTRODUCTION

Undoubtedly, the Web has become the primary source of information and media for interaction. Specifically, university websites have an important role for users interested in higher education, who need accessing to knowledge and information. However, users often have accessibility and usability problems with this websites. In order to address these issues and improve user experience, good strategies for redesigning those sites are required.

The most widely accepted definition of User eXperience (UX) is "A person's perceptions and responses that result from the use or anticipated use of a product, system or service". When applied to content, UX encompasses design, information architecture, accessibility and usability. The common principle in the UX field is achieving a truly understanding of user's requirements.

On one hand, Usability reflects the ease and efficiency of use, and it is an important part of user's experience and therefore user's satisfaction. ISO 9241-11 [3] defines usability as "the degree of effectiveness, efficiency and satisfaction with which specified users can achieve specific goals in specific contexts of use." While Jacob Nielsen [22], defines usability as "a qualitative attribute that evaluates the degree of usability of an interface, and refers proactively to the methods that can be used to improve such ease of use during the design process."

On the other hand, Web Accessibility, as explained by the World Wide Web Consortium (W3C)[9], "means that people with disabilities can perceive, understand, navigate, and interact with the Web, and that they can contribute to the Web"; which applies also to people with any type of temporal or permanent disability.

Beyond the existence of these quality factors, reality confronts us with a WWW that is far away from being for everyone. Websites and applications are inaccessible and have many usability problems representing serious barriers for many groups of users. Several efforts have been made by research groups trying to reverse this situation. For example, such as tackling the problem from the perspective of websites redesign to improve usability and/or accessibility properties and provide assistance to different group of users within different domains [24][25][26][27]. However, efforts are still insufficient to provide developers with the guidance and support needed to meet the challenge of redesigning sites to improve the user experience.

Now, focusing on university websites, although each institution is unique, most of their websites have similar content: admissions, financial aid, academic programs, student life, sports and so on. The quality of content is important for the entire key audience of a university, including students, parents of prospective students, current students, graduates and donors, among others.

Content strategy is related to planning for the creation, delivery, and governance of useful, usable content [2]. Consistently, content strategy aims to create a better user experience, delivering useful content, usable, attractive and accessible. Reidh [1] argues that "every use of your website or mobile app is a conversation started by your site visitor"; where visitors are usually very busy people, who want to read only that stuff which meets the goal that led them to the website.

In order to define a new website composed by useful, attractive and accessible content, Halvorson [2] proposes an approach for defining a content strategy, which consists of three basic steps:

1. Audit: Content audit consists of verifying all content on a website and gathering a list. Reish [1] recommends collecting the following information in a spreadsheet: URL, page title, files, links from this page, date created, last date updated, current owner,

status, importance, action, related comments, person responsible for making changes and due date for changes.

2. Analysis: After gathering information about actual content, finding answers to the following questions is required: (i) What do users want or need?; (ii) How will success be measured?; and (iii) What can be done with the available time and budget? Providing these answers, a document detailing the purpose of the project, scope, business goals, and user needs is created.
3. Strategy: During the strategy phase, the content strategist makes actionable insights by providing a set of achievable recommendations for content creation, delivery and governance. This body of recommendations is the content strategy document.

Once content strategy is defined, the project continues with the creation, delivery and governance of web content of the organization. Governance describes policies, standards and guidelines that apply to content and its lifecycle, as well as how an organization will sustain and evolve its content strategy.

The main goal of our research field is to provide support for the evaluation, design and redesign of web products including usability and web accessibility properties. In particular, we visualize redesign as a process based on the following four stages:

**Stage 1.** Assessing usability and web accessibility to focus on identifying the needs of current website users from these two quality factors perspective.

**Stage 2.** Analyzing the content to define the type of content for improving the way of communication with online audience.

**Stage 3.** Creating the redesigned website taking into account responsive design principles and building new content or migrating existing ones; furthermore, comparative evaluations of usability and web accessibility are included.

**Stage 4.** Managing content to ensure that once a content strategy is implemented, maintenance is going to be applied to enable an effective and expected evolution of the website.

In this work, we focus on providing a set of recommendations, which consider usability, web accessibility, content strategy practices and empirical experiences, to develop Stage 2 (Analyzing the content) when redesigning a university website for improving user experience. The website under redesign belongs to Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA). This site provides news and announcements related to each University head office, which are distributed along the whole Santa Cruz province: Unidad Académica Río Gallegos (UARG), Unidad Académica Río Turbio (UART), Unidad Académica San Julián (UASJ), Unidad Académica Caleta Olivia (UACO), and the University Headquarter. The site also provides links to information and services required by students and professors. To develop the content strategy, we assess the case study website content and also, we assess similar university websites content. Then, based on the analysis of results, we define a set of recommendations that allow including useful, attractive and accessible content to the new website.

The work is organized as follow: Section II provides some background describing how we develop Stage 1 (Assessing usability and web accessibility) in previous works; while Section III describes and applies a methodology to execute Stage 2 (Analyzing the content). Section IV presents some key findings and provides a set of recommendations to manage content strategy. Finally, Section V offers conclusions and presents future work.

## II. BACKGROUND

As we already mention above, we develop Stage 1 in previous works. In order to identify needs of website users from the perspective of usability and web accessibility, we conduct the set of studies described below:

### A. User Research Surveys

While each university institution is unique, most of their websites have similar content: admissions, financial aid, academic programs, student life, sports and so on. In order to discover which website information users at UNPA are interested on, we designed an online survey addressed to all members of university community: students, faculty and staff [5]. We applied SurveyMonkey [10] to prepare the study and once the survey was ready, we sent the link to an extensive contact list; also, we shared the survey through most popular social networks. Running the survey, we received a total of 110 responses; Fig. 1 illustrates obtained results.

### B. Web Accessibility Evaluation

The purpose of this study was to identify accessibility problems on UNPA website [4]. In order to accomplish this research goal, we perform an adaptation of "Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology" defined by W3C/WAI [18]. The compliance level selected for this assessment focuses on 37 checkpoints of the WCAG 1.0 guidelines, which are associated with the accessibility barriers for blind users proposed by Brajnik [19]. The following assessments were made:

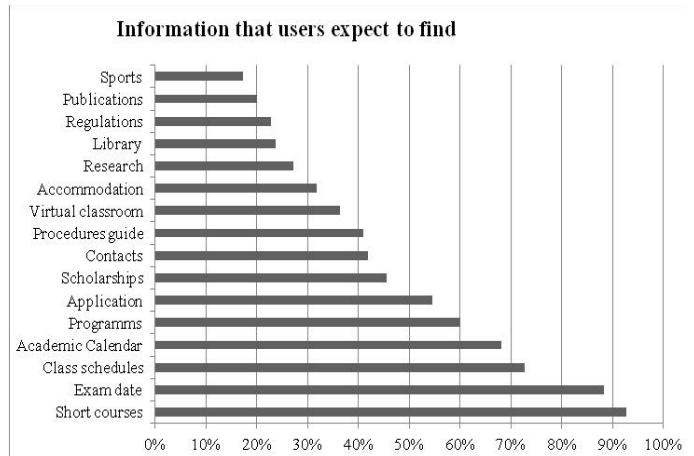


Fig. 1. Online Survey Results.

*1) Conformance Reviews:* The level of compliance is evaluated by using and automated tool called Hera [11]. Also, a human expert manually analyzes each checkpoint that cannot be evaluated by the automated tool. Checkpoints with a priority level 1 and 2 are analyzed using "Unified Web Evaluation Methodology" (UWEM) [8]. The Conformance Reviews conducted on UNPA website, identified 11 checkpoints of WCAG 1.0 that resulted in Fail.

*2) Automated Tests:* The syntax of the language used in each key page of the website is verified using Markup Validation Service [12] and CSS Validation Service [13]. Also, and to verify that the content of the page has no broken links, Link Checker [14] is used. On one hand, Markup Validation Service identified 53 errors while checking UNPA home page fixed as XHTML 1.0 Strict. CSS Validation Service indicated that the document is valid for CSS (version 3) even though included 34 warnings. On the other hand, Link Checker identified 7 broken links and a set of links that do not use the exact URL, as a consequence those links were redirected.

*3) Screening:* The availability and meaningful order of the information, are checked with NVDA [15] screen reader. Problems encountered were identified based on the list of web accessibility barriers for blind people, proposed by Brajnik in [19], as follow: rich images lacking equivalent text, moving content, image maps with no text, generic links, ambiguous links, dynamic menus, new windows, forms that are badly linearized, too short timings and dynamic changes.

### C. User Observation

In this study, we propose an evaluation based on User Observation technique [21] in order to contribute to a better identification of accessibility barriers faced by users when browsing a University website [6]. This study involves 10 participants, including 4 blind users whose experience accessing the Web using screen readers was more than 5 years. The tasks developed by this group of users were chosen from the results of the survey that we conducted in [5]. Comments recorded by the observer, as well as difficulties encountered by users when executing tasks, are summarized as following:

#### Task #1. Find the exam dates during December 2015:

- User does not find Search function.
- Search function does not meet query requirements.
- User confuses "Calendario" option in "Ciencia y Tecnología" menu with "Calendario Académico".

#### Task #2. Identify groups that belong to the "Instituto de Trabajo, Economía y Territorio":

- User finds information page, but does not understand the difference between "Grupos de Investigación" and "Institutos".
- User finds "Institutos" page. The title is read character by character by the screen reader (since it is written leaving blanks between characters).
- Search function does not meet query requirements.

Task #3. Identify Academic Units at which is taught the "Tecniciatura Universitaria en Minas" degree:

- User finds "Carreras" page, but while browsing the table with the keyboard, he finds information that is not understood (links "Ir").
- "Académica" option in "Enseñanza" menu is both a link and a menu. "Academica" submenu (where "Carreras" option can be found) is displayed only when mouse pointer is passed over.
- User finds "Carreras" link at Home Page, but it is related to graduate careers, and he is not able to find what he was looking for.
- User does not understand when the screen reader reads the acronyms UARG, UART, UASJ, UACO.
- Users think that on Home Page should be a direct link to "Carreras" page. So, they browse this option several times looking for this link.

Task #4. Identify the requirements and conditions of these scholarships for new students:

- User searches for a link that he remembers he visited before and where he believes he would find required information, but he does not find that link because that information has dynamic behavior.
- User finds information about "Becas" for future students using Search function, but it is outdated (information provided is from 2010).
- User finds "Becas" page whose content tells "En construcción".

Based on the results obtained in above studies, we identified the following findings: (i) Barriers to the access and interaction of blind users were identified: rich images lacking equivalent text, moving content, image maps with no text, generic links, ambiguous links, dynamic menus, new windows, forms that are badly linearized, too short timings, and dynamic changes; and (ii) Usability problems are related to the Information Architecture design of the website: user does not understand the language used on the site, user confuses the meaning of some words, user finds pages that contain irrelevant or outdated information and engine search does not meet query requirements.

Following, in Section III, we describe and apply a methodology to execute Stage 2 (Analyzing the content).

## III. METHODOLOGY

### A. Purpose

As previously mentioned, the purpose of this project is to redesign UNPA website to improve user experience. At Stage 2 of redesign process (Analyzing the content), the goal is to develop a content strategy foundation for the new website, which enables identifying the type of content that improves communication with online audience.

### B. Procedure

Developing a content strategy allows recognizing the current website content, and also determining the desired content. For this end, we assess case study website content, and also we assess similar university websites content, as described below.

*1) Content Inventory:* In this study, we started identifying what content already exists at UNPA website; this step is often called a quantitative audit or content inventory.

First, we began running an automated web crawl (a software application that provides a list of all URLs on the site) such as Screaming Frog [17].

Then, on the basis of information provided by the crawler tool, we created a spreadsheet that represents every page on the website, and for each page, we registered: page title, title length, content type (HTML, JavaScript, Images, PDF), out links, page status (OK: Success, NR: No Response, RE: Redirection, CE: Client Error, SE: Server Error), and word count.

TABLE I. presents an example of inventory data registered for pages included in the "Gestión" section of UNPA site.

*2) Content Auditory:* A content audit is a qualitative analysis of content. It addresses the appropriateness of the content and its functionality.

This analysis is carried out on the basis of data obtained in the content inventory by evaluating current content status (E: Error, U: Under construction, D: Duplicated, O: Outdated, L: Large, A: Appropriate), the title status (A: Adequate, M: Missing , D: Duplicate, O: Over 70 characters, S: Same as h1, M: Multiple) and defining future actions on them (L: Leave As-is, E: Edit, C: Consolidate, D: Delete).

As shown in TABLE II., the example records the analysis of pages included in "Gestión" section of UNPA site.

*3) Competitive Analysis:* A competitive analysis generally means a mini-audit of content published by organizations with similar audiences.

TABLE I. CONTENT INVENTORY EXAMPLE.

Page title	Title length	Content type	Out Links	Page Status	Word count
Gestión   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	51	HTML	156	OK	1275
Administración y Gestión   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	71	HTML	135	OK	822
Personal de Administración y Apoyo   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	81	HTML	135	OK	941
Profesores   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	57	HTML	135	OK	897
Últimos instrumentos legales   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	75	HTML	135	OK	1211
Gestión   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	51	HTML	156	OK	1275
Licitaciones   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	59	HTML	141	OK	880

TABLE II. CONTENT AUDITORY EXAMPLE.

Page title	Content Status	Title Status	Future Action	Comments
Gestión   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	A	A	L	
Administración y Gestión   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	U	O	D	
Personal de Administración y Apoyo   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	O	O	E	Updated in 2007
Profesores   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	D	A	D	Same as to link "Siu Guarani"
Últimos instrumentos legales   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	D	D	D	Same as to link "Digesto"
Gestión   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	D	A	E	Name of link is "Presupuesto"
Licitaciones   Universidad Nacional de la Patagonia Austral	O	A	D	Updated in 2014

To choose these competitors, we referred to the list, which is composed by 51 National Universities websites, provided by the Educational Ministry [16]. The analysis was performed over a sample of 10 university websites competitors, and we focused on evaluation of branding, accessibility, usability, and content of the websites.

For this, we adapted the methodology proposed by Rubinoff [23], that proposes to evaluate the overall user experience by measuring four interdependent elements of a website: (i) Branding, that includes related aesthetic elements within the website design, and it involves the projection of the organizational image and the desired message; (ii) Functionality, that includes the delivery of website services to all end users; (iii) Usability, that involves overall ease of use of all aspects, including navigation and accessibility; (iv) Content, that refers to the actual content of the page (text, multimedia, images), and its information architecture.

This methodology proposes the separation of analysis into four sections (one for each of the four elements of user experience). For each of these elements, we define five parameters against which each site will be measured. We assign each parameter a score ranging from 1 to 20.

For this case study, as shown in TABLE III., we decided to replace the Functionality category by Accessibility category, which determines whether different types of users (including users with disabilities) in several locations (eg, mobile web) can make use of a given website.

Then, to better understand the types of content offered on the websites of universities, we categorize links to their homepages based on the proposal of [20]. TABLE IV. shows, as an example, identified differences and similarities between some of the analyzed sites.

For brevity reasons, TABLE III. and TABLE IV. present only a part of this analysis, between data obtained when analyzing UNPA website, against data obtained through the analysis of 2 of 10 university websites competitors.

TABLE III. COMPETITIVE ANALYSIS EXAMPLE.

University Name	Universidad Nacional de la Patagonia Austral <sup>a</sup>	Universidad Nacional Arturo Jauretche <sup>b</sup>	Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco <sup>c</sup>
<b>BRANDING</b>			
Website provides visitors with a memorable experience	10	10	10
Content is intended for visitors	5	10	10
Visual impact of the site is consistent with the brand identity	15	15	10
Graphics add value to the experience	10	10	10
Website takes advantage of other communication channels to enhance the brand	0	20	20
<b>ACCESSIBILITY</b>			
Website adheres to Web accessibility standards	0	0	0
Website contains tools that enhance efficiency	20	0	0
Mobile version is offered	0	20	20
Website does not contain links whose labels are not informative (eg "click here")	0	0	0
Website avoid time-based actions that change the status of the pages	0	0	0
<b>USABILITY</b>			
Website typically loads information promptly	18	3	17
Website provides consistent navigation mechanisms	15	15	10
Website provides additional navigation support	20	10	0
Website provides internal search engine	20	15	20
Website prevents errors	10	15	10
<b>CONTENT</b>			
Link density provides easy navigation	15	8	8
Content of pages is under 100kb	14	12	16
Content structure is adequate for different audiences	10	20	10
Most important content stands out clearly	5	5	10
Content is up-to-date	5	15	10

<sup>a</sup> www.unpa.edu.ar<sup>b</sup> www.unaj.edu.ar<sup>c</sup> www.unp.edu.ar

TABLE IV. CONTENT TYPES ANALYSIS EXAMPLE.

Category	Universidad Nacional de la Patagonia Austral	Universidad Nacional Arturo Jauretche	Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
<b>Directory</b>	Mapa del sitio Buscar	Mapa del sitio Search	Mapa del sitio
<b>Intranet</b>	Webmail UnpaBimodal	Campus Virtual	Campus Virtual
<b>About</b>	Institucional Contacto	Institucional Contacto	Institucional Contactos Cómo Llegar
<b>Courses</b>	Académica Oferta académica	Carreras	Académica Oferta académica
<b>Campuses</b>			
<b>Students Prospective</b>	Preinscripción online		Ingresantes 2016
<b>Research</b>	Ciencia y tecnología Subsidios		Investigación
<b>Community</b>	Extensión y transferencia Institutos		Extensión
<b>Alumni</b>	Postgrado	Posgrado	
<b>News</b>	Boletines Radio	Newsletter Radio en vivo	Radio Universidad
<b>Related Links</b>			CONICET
<b>Library</b>	SIUNPA	Biblioteca	Bibliotecas y museos
<b>Employment</b>	Cobertura de cargos docentes		
<b>Students Current</b>	Deportes y Recreación		Deportes Calendario Académico
<b>Services</b>	Servicios		Calendario
<b>Management</b>	Reglamentos Presupuesto	Normativas	Presupuesto
<b>Quality</b>		Primera Autoevaluación Institucional	
<b>Students International</b>			Oficina de Relaciones Internacionales
<b>Events</b>		Agenda de Actividades	
<b>Web Information</b>	Retroalimentación		
<b>Students</b>	Becas Académica		Becas
<b>International</b>	Cambiar idioma		English version
<b>Students New</b>			Orientación al estudiante
<b>Other</b>			

In addition, during competitive analysis, we took notes of some ideas about the sites under analysis by annotating their screenshots. The example in Fig. 2 shows the perceptions identified about the home page of one of the competitors websites: "1) this site uses Google maps, 2) in this site, social networks are used as communication channels".

Following, in Section IV, we analyze the results of our study to provide strategy insights when managing content to redesign a university website.

#### IV. RESULTS

##### A. Content Analysis of UNPA Website

In order to analyze the current content, we collected data from 169 pages of UNPA website.

The results of this analysis are summarized in Fig. 3 and show that while 21% of pages have appropriate content, a significant number of pages (31%) provide outdated information, and 18% is under construction. On the other hand, while 23% of the pages have an appropriate title, there is a 27% of pages with duplicate titles, and 65% of pages whose titles are too long.

Based on the resulting status of the content, we define future actions, as follow: (i) "leave as is" those pages with appropriate content, (ii) edit pages under construction and titles too long, (iii) consolidate duplicate pages, and (iv) delete pages with errors and outdated content.

As a consequence of content audit, depicted in Fig. 4, we recommend remove 53% of pages (20% consolidation and 33% elimination); while on the other hand, we recommend rewriting 26% of the pages and keeping the remaining 21% of pages.

##### B. Content Analysis of Competitors Websites

The websites being under analysis vary in the level of consistency they have achieved. TABLE V. summarizes the score reached by each website in user experience evaluation through the competitive analysis that we performed.

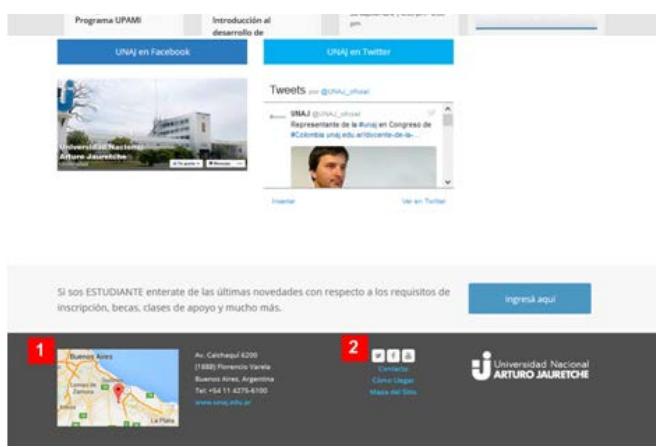


Fig. 2. Home page screenshot of Universidad Nacional Arturo Jauretche.

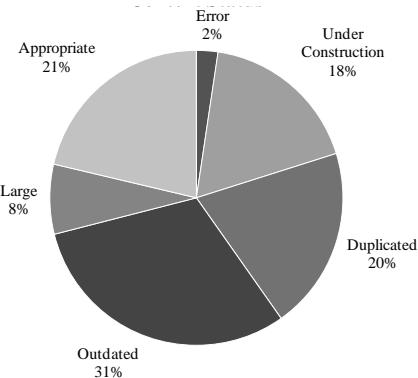


Fig. 3. Percentage of pages of UNPA website according to the status of the current content.

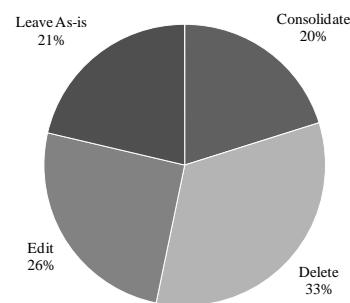


Fig. 4. Percentage of pages of UNPA website according to defined future actions for the current content.

TABLE V. USER EXPERIENCE ANALYSIS.

	Branding	Accessibility	Usability	Content
Universidad Nacional de la Patagonia Austral	40	20	83	49
Universidad Nacional Arturo Jauretche	65	20	58	60
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco	60	20	57	54
Universidad Nacional de Tucumán	45	10	49	79
Universidad Nacional de Catamarca	60	20	59	63
Universidad Nacional del Nordeste	65	20	44	70
Universidad Nacional de Lomas de Zamora	75	40	63	70
Universidad Nacional de La Rioja	70	20	83	69
Universidad Nacional de Cuyo	75	50	77	69
Universidad Nacional del Litoral	75	30	80	62
Universidad Nacional de Tierra del Fuego	60	20	44	80

TABLE V. shows that among the four elements of user experience that we evaluated, the aspect on which all sites get lower scores, is Accessibility. It is also noted that in the Branding and Content aspect, UNPA website reaches the lowest score among all tested sites. While in the Usability aspect, this site gets the maximum value obtained in our evaluation.

Summarizing these results, they evidence that the experience is unsatisfactory for those users interacting with current UNPA website. Our studies reveal that most of the actual content is inaccurate and outdated. In addition, navigation mechanisms are not intuitive or user friendly. Also, the overall design of the site is not accessible to users with disabilities. In general, the lack of quality content and interface design on UNPA website, leads users to not completing tasks as they were expecting.

Finally, the results of competitive analysis allow us to identify a set of key findings, which are summarized below:

- Most home pages contain updated information on: social or sports activities, conferences or courses that are open to the public, news of interest to students and staff.
- The style of the contents of the home pages is diverse. Some websites emphasize objective, statistical information about their web pages. Whereas others websites emphasize lifestyle and environment of their campus.
- A few home pages have graphic advertisements for university events, facilities or services typically used for externally-focused or student-specific promotions.
- Most websites offer multiple navigation pathways, either by providing two or more links to a page of key content, or allowing users to browse a site map or index/directory.
- Some websites use images to convey specific information or to illustrate the text content. Most use the images as decoration.
- Each University adapts the navigation links to their particular audience and institutional language. However, the titles of links used most frequently are: Plan de estudios, Postgrado, Ingresantes, Estudiantes, Calendario académico, Inscripciones, Estatuto, Consejo Superior, Proyectos de investigación, Publicaciones, Becas, Pasantías.
- Most universities have invested in the development of mobile websites and applications aimed primarily at students.
- The common types of content offered on the homepages of Universities are: News and events, About University, Courses, Research, Community extension, Links to external sites, Students current, Organizational.
- Content is published on the web, across multi-channel social networking systems.

## V. STRATEGIC FOUNDATION

Once existing content has been inventoried, audited, and analyzed, the next mandatory step is to communicate the findings and recommendations to stakeholders and have their full commitment for the implementation of next steps.

This section gives an idea about what information to include in the content strategy document, in order to serve as a reference guide to develop a comprehensive content strategy.

**Brand.** Write a style guide of the brand that defines how the University is presented to the world. This guide is a reference that helps maintain consistency on what the brand conveys. Among other things, it defines: What font is used? What color palette represents the institution? What size are the headlines? Are there certain types of images or videos that communicate the new identity? Is there anything that should not be seen on the site? Is there something that should be on every page? What are all approved versions of the logo, and when to use each (show visual examples to make it really clear)?

**Style and voice.** As an educational institution, the form of expression must be intelligent, interesting and consistent, to gain the interested audience's trust. For this, consider the following guidelines: (i) maintain a sense of authority and professional sound, (ii) do not use jargon, (iii) address the reader as "you" and use "we", "us" and "our" when refers to the University, (iv) highlight the benefits that the University can offer to the audience and show success stories in real life.

**Content.** To reach that new audience and continue to serve the existing audience, University should: (i) review pages with appropriate content on the basis of the writing guides, (ii) edit pages under construction and titles too long, (iii) consolidate duplicate pages, and (iv) delete pages with errors and outdated content, (v) expand content on the following categories: Campuses, Related Links, Quality, Students International, Events, Students New, Social Networks.

**Imagery.** Just as a written text, photography is part of the content of a site. This delivers information and is complemented by other elements such as infographics and videos. For this reason, it is recommended: (i) to replace the outdated images, (ii) if an image is required, make sure it is relevant to the page content and optimize their size for the web, (iii) discard photographs image banks.

**Accessibility.** The new design should include both people with disabilities (visual, hearing, cognitive or motor impairments), as well as users with slow Internet connections and using mobile devices to access web content. The Web Content Accessibility Guidelines [28], [29] are the most comprehensive guidelines for ensuring that websites are accessible.

**Social Media.** Encourage the official use of social media as an additional way to engage students, staff and the community. For this, consider the following guidelines: (i) if the University has many social media profiles, (Facebook, Instagram, Twitter), the visual and naming consistency amongst these profiles is important for audiences to recognise official University profiles, (ii) vary the type of shared content

(video, GIF, computer graphics, images, polls, links to the website, plain text messages) throughout each week, (iii) determine who will have absolute editorial control over publication of content on social media, (iv) plan the content of social media at least two weeks in advance, (v) test what content is shared and when, so to publish similar content.

**Writing style.** Make sure that content is easy to read online because people look for online text to be easily scannable. The following guides apply regardless of platform or channel: (i) Use plain language and write short sentences, (ii) Use words that user will know, not jargon, (iii) Be concise, approximately 100 words, (iv) Write headings as links, (v) Write the first sentence as a summary, (vi) Put the most important ideas first, (vii) Write one topic per paragraph, (viii) Highlight keywords, (ix) Use bullet points to make supporting ideas easy to scan.

**Editorial calendar.** This element allows to guide the steps of collecting, creating, editing, publishing and maintaining content, assigning specific times each. If the institution has more than one editor, also define who is responsible for each task.

In next stages, assessments and planning on the content they will materialize. It means that efforts should focus on the life cycle of content that includes, in general, data collection, editing, publishing and content management.

## VI. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Content strategy focuses on surfacing useful, usable, accessible and findable content at the most opportune time to achieve the goals of an organization. Content is an essential matter for improving user experience and future success of university websites.

The results of our studies show that it is necessary to improve the content of UNPA website to enhance user experience. For this, we propose a strategic foundation that serves as a reference guide to develop a comprehensive content strategy. It is focused in: (i) improving web accessibility; (ii) reversing the lack of quality content; and because of bringing together all these factors, (iii) improving the access and interaction with the UNPA website to enhance user experience.

As future work, we will execute content strategy resulting from our proposal to implement the redesign of UNPA website. We will also carry out further assessments of user experience to validate our proposal.

## ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by the UNPA Project 29/B194 "Un Enfoque Integrador para Diseñar y Evaluar Interfaces de Usuario Web".

## REFERENCES

- [1] Redish, J. G., *Letting go of the words: Writing web content that works*, Morgan Kaufmann, 2007.
- [2] Halvorson, K.; Rach, M., *Content strategy for the web*, New Riders, 2012.
- [3] ISO 9241-11:1998, *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) -- Part 11: Guidance on usability*. International Standardization Organization (ISO), Switzerland.
- [4] Sosa, H., Gaetán, G., Martín, A., "Rediseño de un Portal Web Universitario Aplicando Patrones de Accesibilidad: Derribando Barreras para Usuarios con Discapacidad Visual," *Informe Científico Técnico UNPA*, vol. 7, nro. 2, pp. 139-165, 2015.
- [5] Moyano, A., Gaetan, G., Martin, A., "Interface Movil para el Sitio Web de la UACO. Un Prototipo Centrado en el Usuario," *Informe Científico Técnico UNPA*, vol. 8, nro. 1, pp. 172-201, 2016.
- [6] Gaetan, G., Martin, A., Saldaño, V., Sosa, H., "Identifying Accessibility Barriers of a University Website," *International Conference on Advances in New Technologies, Interactive Interfaces and Communicability*, 2015.
- [7] W3C, *Website Accessibility Conformance (WCAG-EM) 1.0*, [Online: <http://www.w3.org/TR/WCAG-EM/>]
- [8] Nietzio, A., Strobbe, C., Velleman, E., *The Unified Web Evaluation Methodology (UWEM) 1.2 for WCAG 1.0*, Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [9] World Wide Web Consortium, <<http://www.w3.org/>>
- [10] SurveyMonkey, <<https://es.surveymonkey.com/>>
- [11] HERA 2.1 Beta, <<http://www.sidar.org/hera/>>
- [12] Markup Validation Service, <[validator.w3.org/](http://validator.w3.org/)>
- [13] CSS Validation Service, <<https://jigsaw.w3.org/css-validator/>>
- [14] Link Checker, <[validator.w3.org/checklink](http://validator.w3.org/checklink)>
- [15] NVDA (NonVisual Desktop Access), <[www.nvaccess.org/](http://www.nvaccess.org/)>
- [16] Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación, <<http://portales.educacion.gov.ar/spu/sistema-universitario/listado-de-universidades-e-institutos/listado-de-universidades-nacionales/>>
- [17] Screaming Frog SEO Spider Tool, <<https://www.screamingfrog.co.uk/seo-spider/>>
- [18] WCAG-EM Overview: Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology, <<https://www.w3.org/WAI/eval/conformance>>
- [19] Brajnik, G., Barrier Walkthrough.: Heuristic evaluation guided by accessibility barriers. [Online: <http://users.dimi.uniud.it/~giorgio.brajnik/projects/bw/bw.html>], 2009.
- [20] Ruwoldt, M. L., Spencer, C., "Navigation and content on university home pages," *Proceedings of the 11th Australasian World Wide Web Conference*, 2005.
- [21] Kuniavsky, M., *Observing the user experience: a practitioner's guide to user research*, Morgan Kaufmann, 2003.
- [22] Nielson, J., *Designing web usability*, New Riders, 1999.
- [23] Rubinoff, R., "How to quantify the user experience," <<https://www.sitepoint.com/quantify-user-experience/>>, vol. 5, nro. 10, 2004.
- [24] Becker, D., Yannotta, L., "Modeling a Library Website Redesign Process: Developing a User-Centered Web-site Through Usability Testing," *Information Technology and Libraries*, vol. 32, nro. 1, 2013.
- [25] Patsoule, E., Koutsabasis, P., "Redesigning websites for older adults: A case study," *Petra Conference*, Greece, ACM, 2015.
- [26] Rogers, R., Preston, H., "Usability analysis for redesign of a Caribbean academic library web site: A case study", *OCLC Systems & Services: International digital library perspectives*, vol.25, nro. 3, pp.200-2111, 2009.
- [27] King, H. J., Jannik, C. M., "Redesigning for Usability: Information Architecture and Usability Testing for Georgia Tech Library's Website," *OCLC Systems & Services: International digital library perspectives*, vol. 21, nro. 3, pp.235-243, 2005.
- [28] World Wide Web Consortium. *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.0*, 2008.
- [29] Thorp, J., Henry, S. L., *Web Content Accessibility and Mobile Web: Making a Web Site Accessible Both for People with Disabilities and for Mobile Devices*. Web Accessibility Initiative. World Wide Web Consortium. 2008.

# An Empirical Assessment of the Graph-based Visualization Technique

Germán Oswaldo Cárdenas

Dept. de Ingeniería de Sistemas e Industrial  
Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá, Colombia  
gocardenasc@unal.edu.co

Jairo Aponte

Dept. de Ingeniería de Sistemas e Industrial  
Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá, Colombia  
jhapontem@unal.edu.co

**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*

## I. INTRODUCTION

In order to analyze and understand large-scale software 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 that the systematic, disciplined, and controlled method for evaluating visualization techniques provided by experimentation has hardly been used [1, 2, 19]. As a consequence, several primary 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 paper 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 [2] and explicitly depict software organization

and its key aspects [3]. 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 [1, 4]. To sum up, we make the following main contributions:

1. We carry out a completely independent controlled experiment over an industrial software system.
2. We present empirical evidence of benefits and drawbacks of graph-based visualization technique, and discuss both overall and per-task results.

Results confirm findings from previous studies and provide more insights into the support provided by graph-based visualization for specific software comprehension tasks.

**Structure of the paper.** In section II we present the set of tools used in the controlled experiment. Section III describes related work. Section IV shows and explains our experiment's design. In section V we present and discuss our experimental results. And finally, conclusions and future work are presented in section VI.

## II. TOOLS IN A NUTSHELL

The current section presents the selected tools to implement the techniques under comparison. Since tools have a large number of characteristics we limit our description to those which were needed to perform our controlled experiment. Also, we describe briefly the selection criteria.

### A. ISPACE

The main factor being analyzed is the use of the graph-based visualization technique, which in this case is implemented in the ISPACE tool<sup>1</sup>. 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 [16].

---

<sup>1</sup> <http://web.archive.org/web/20111201180259/http://ispace.stribor.de/index.php?>

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 [15].

Figure 1 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 [17].

### B. Eclipse IDE

To perform source-code-based exploration, we chose the state-of-the-practice Eclipse IDE<sup>2</sup> which is a well-known tool among software community, and also it allows package exploration, making fairer the comparison.

Eclipse is a widely used development platform. It contains a base workbench, and an extensible plug-in mechanism to enrich environment's functionalities. Package explorer features provide a tree-based view that enables code exploration at different levels of granularity. Besides, it provides an editor that allows reading, writing, and modifying source code.

### III. 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. [5] evaluated SAVE, their tool for software architecture visualization and evaluation, including academic subjects, and utilizing Tomcat web server as the object system.

Cornelissen et al. [6] carried out an experiment to assess EXTRAVIS, their tool for visualizing execution traces, using one object system and a group of 23 academic subjects and one participant from industry.

Storey et al. [7] evaluated the two different approaches in their tool, called Rigi, using subjects with academic background, and three object systems.

Haitzer and Zdun [8] conducted a controlled experiment to determine the usefulness of component diagrams to support understanding architectural level using a single system and students.

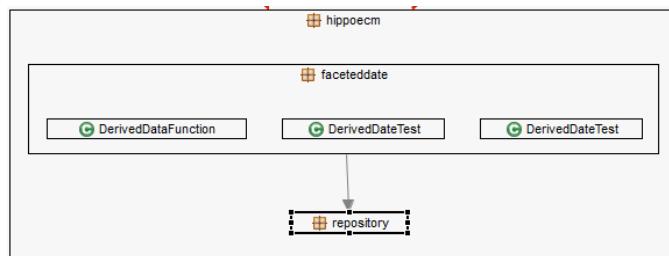


Fig. 1. ISPACE view

<sup>2</sup> <https://eclipse.org/downloads/>

Quante [9] performed a controlled experiment to evaluate their approach DOPG; all participants were students, and three object systems were used.

Finally, Fittkau et al. [14] conducted two controlled experiments to compare their tools EXTRAVIS and ExploreViz in typical comprehension tasks.

There are two major differences between the related work and our study. First at all, most of the studies evaluate their own tools or approaches, while our study is completely independent. The assessment presented by Haitzer and Zdun [8] 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 principal difference is the system object's size. We decided to utilize a software system of 303828 LOC. The experiments cited in this section, mainly present software systems not representatives of actual industrial systems. Only in the Quante's experiment [9] the largest system has 319917 LOC, which we consider a reasonable and representative size.

### IV. EXPERIMENTAL DESIGN

The purpose of the 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. The following research questions were formulated:

**RQ1:** Does the use of graph-based VT 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.

### A. Hypotheses

Based on the formulated research questions, the null and alternative hypotheses are given in the table I.

TABLE I. 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.

### B. Object System

We chose a real system for our assessment. We made this choice based on two criteria: 1) it has to be as large as typical industrial software, so that we are able 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<sup>3</sup>, 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.

### C. Tasks

For choosing experimental tasks, we adopted three strategies. 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 [1, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14]; 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.

Eight tasks were initially chosen, but we decided to exclude two original tasks. One task was redundant because it was based on names recognition and coupling analysis which we consider covered by tasks 3, 4 and 6. The second task was dismissed since it was biased towards a particular architectural style, so we would not be able to generalize results.

We finally selected six tasks<sup>4</sup> that cover the most important and common software understanding activities [13]. We decided on the final set of tasks, described below, after we ran a pilot with two subjects to determine the approximate amount of time needed to complete the tasks.

**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 [13].

**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 [13].

**Task 3.** Which is the class in the package P with the strongest coupling to package Q? How did you identify that class? [6]

*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? [14]

*Rationale:* Understanding dependencies between artefacts and assessing the quality of the system's design is one of the principal activities in software comprehension [13].

**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 of the system 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 [1].

**Task 6.** Describe the purpose of package P. How did you determine the purpose of that package? [7]

*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 [13].

### D. Subjects

The subjects in this experiment were undergraduate students from a Software Engineering course. As we see in Figure 2, all subjects had knowledge of the fundamentals of OO programming and design, and Java programming experience, which we estimated as an adequate background for performing the experiment.

Since motivation is an essential element of software visualization evaluations [18], to recruit participants we offered a reward and 21 students from the course decided to accept the invitation. However, we did have 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.

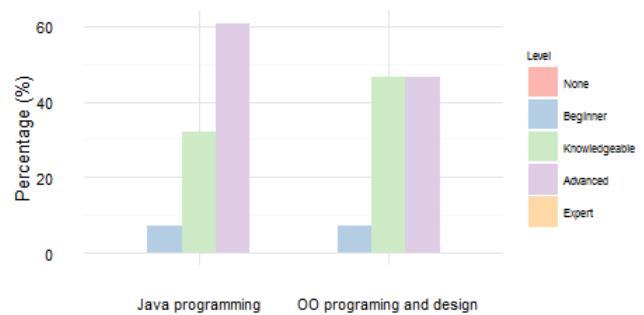


Fig. 2. Subjects' Expertise.

<sup>3</sup> <https://www.onehippo.org/>

<sup>4</sup> Complete questionnaire available in the experimental package.

To assign the two treatments, we divided the participants into two groups, maintaining a balance between the groups with respect to course performance as much as possible. To do that, we grouped the students 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, we evenly distributed the students of each category among the two groups.

#### E. Data collection

All subjects answered the six tasks via an online questionnaire designed using the Qualtrics<sup>5</sup> system. The tasks were presented in the order they appear in Section C. 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 answering it.

#### F. 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 the type of technique our independent variable. This variable has two levels, i.e., graph-based visualization and source-code-based exploration technique.

#### G. Dependent variables

We assessed the correctness and the completion time of each task to measure effectiveness and efficiency, respectively. 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.

#### H. Controlled variables

We identified the participants' course performance as an influential factor over the experiment's results. To mitigate this potential influence, we used blocking technique based on the criteria and categories described in Section D. Table II shows the assignment of individuals to groups, broken down by categories.

#### I. 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 resolved 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<sup>6</sup>.

#### J. 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 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 Java programming, and OO programming. 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 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 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.

TABLE II. SUBJECT DISTRIBUTION

Treatments	A	B	C	Total
Source Code-based Group	2	2	7	11
Graph-based Group	3	1	6	10

5 <https://www.qualtrics.com/>

6 <https://drive.google.com/open?id=0B6lbY7sU2RMIMW1LcIRhTGc5OTQ>

## V. RESULTS

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 our data meet normal distribution and depend on equal or unequal variances. To test 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 ( $\alpha=0.05$ ). The complete statistics related to the experiment's result are presented in Table III.

We performed the analysis for correctness and completion time using RStudio<sup>7</sup> Statistical Software. All scripts and results are available as part of our experimental package.

### A. Analysis Results 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 treatment. This means that the data show evidence that the graph-based visualization increases the correctness in program comprehension tasks (21.45%).

To understand better the magnitude of the difference between the two treatments [20, 21], 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 2.

### B. Analysis Results on Completion Time

For the completion time analysis, we decided to remove results from both task 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 that the evaluation performed by Fittkau et al. [14]. It ended up in elimination of 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 3.

### C. Tasks Analysis

We provide a deeper analysis of the results, for each task. Both task T1 and T4 was excluded from completion time analysis, as 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.

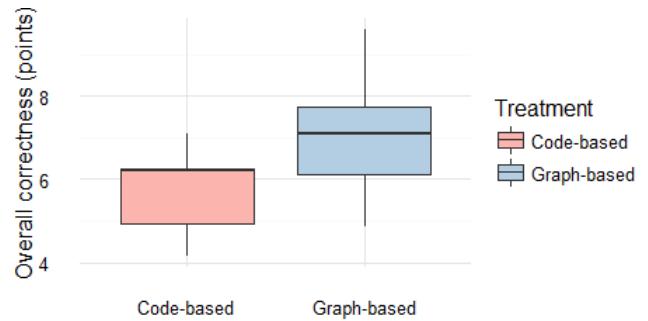


Fig. 2. Boxplots for overall correctness.

**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 treatment had a very poor performance, while for the graph-based one it was acceptable. The subject 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). Description of entities and relationships was 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 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 here; 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).

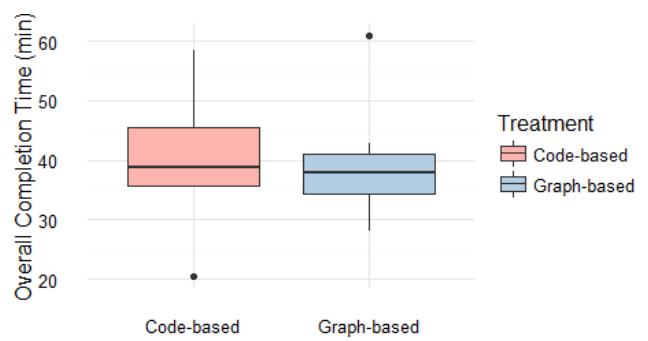


Fig. 3. Boxplots for overall completion time.

<sup>7</sup> <https://www.rstudio.com/>

TABLE III. DESCRIPTIVE STATISTICS OF THE EXPERIMENTAL RESULTS.

<i>Treatment</i>	Correctness									
	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>Sdev</i>	<i>Shapir-Wilk Test</i>	<i>Cohen's d</i>	<i>Levene's Test</i>	<i>t</i>	<i>p-value</i>
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										
<i>Treatment</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Median</i>	<i>Sdev</i>	<i>Shapir-Wilk Test</i>	<i>Cohen's d</i>	<i>Levene's Test</i>	<i>t</i>	<i>p-value</i>
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				

**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 task.

**Task 5:** For this task the graph-based performed 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 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 name recognition strategy, while in code-based treatment most subjects inspected code to understand package's functionality, and just one subject used name recognition strategy to solve this task. The code-based group performed 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 4 shows graphical results of correctness.

Subjects in graph-based treatment performed better in tasks T2, T4, 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 5 shows graphical results of completion time.

#### D. 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. [6] and task 5 in a study by Wettel et al. [1]. Results in the mentioned studies outperformed considerably ours for both tasks.

The experiment done by Cornelissen et al. [6] evaluates the EXTRAVIS tool, which visualizes dynamic and static analysis,

against Eclipse. EXTRAVIS provide 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 [2] 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. [1]. They evaluate the CodeCity tool, which presents a metaphor-based technique [2]. 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 claimed not to understand task T4. No subject said not to understand task T5. In order to analyze the others mentioned potential reasons, further research is necessary.

#### E. 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. Subjects perceived VT less useful for T3 (40%), which is consistent with their strategy to resolve this specific task, since 5 subjects used code exploration when solved it. Figure 6 shows the overall subjects' perceptions of the graph-based group.

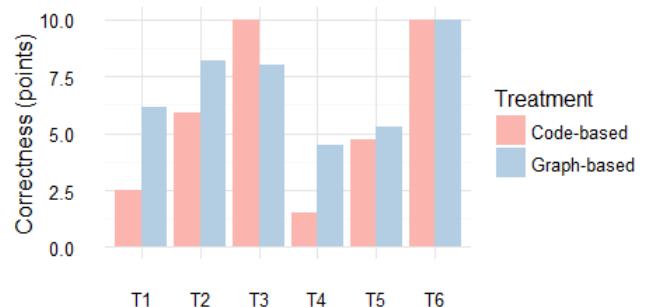


Fig. 4. Correctness per task.

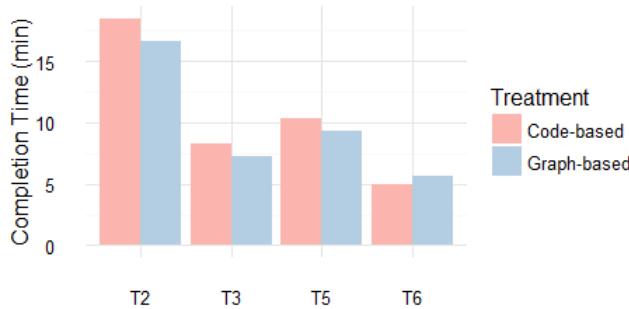


Fig. 5. Completion time per task.

#### F. Post-Experiment 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 tasks 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 state our hypothesis as we did not ask participants about their level of confidence. Figure 7 compares the difficulty perceptions against both completion time and correctness results.

## VI. 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.

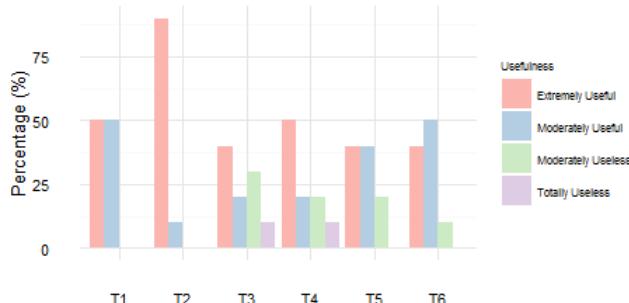


Fig. 6. Usefulness perception of the Visualization Technique.

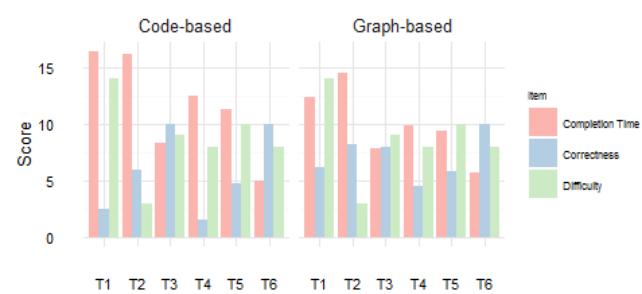


Fig. 7. Task difficulty perception.

The study results indicate that the use of the graph-based visualization increases the correctness (21.45%) and show no evidence of reduction for completion time in program comprehension tasks. Furthermore, subjects in the graph-based group performed better in tasks T1, T2, T4, and T5 in terms of correctness. Task T3 was the only one in which the code-based group outperformed the graph-based one. The code-based exploration seems to be the best strategy for performing this type of tasks.

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 [4] is more appropriate and effective, and similarly, identify those in which the visualization support does not improve neither the efficiency nor the effectiveness.

## REFERENCES

- [1] 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.
- [2] Shahin, M., Liang, P., & Babar, M. A. (2014). A systematic review of software architecture visualization techniques. Journal of Systems and Software, 94, 161-185.
- [3] Dąbrowski, R., Stencel, K., & Timoszuk, G. (2011). Software is a directed multigraph. In Software Architecture (pp. 360-369). Springer Berlin Heidelberg
- [4] Wettel, R., Lanza, M., & Robbes, R. (2010). Empirical validation of CodeCity: A controlled experiment. Tech Report 2010/05, University of Lugano.
- [5] 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.
- [6] Cornelissen, B., Zaidman, A., & Van Deursen, A. (2011). A controlled experiment for program comprehension through trace visualization. Software Engineering, IEEE Transactions on, 37(3), 341-355.
- [7] Storey, M. A., Wong, K., Fong, P., Hooper, D., Hopkins, K., & Müller, H. A. (1996, November). On designing an experiment to evaluate a reverse engineering tool. In Reverse Engineering, 1996., Proceedings of the Third Working Conference on (pp. 31-40). IEEE.
- [8] 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.
- [9] 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.

- [10] Lungu, M., Lanza, M., & Nierstrasz, O. (2014). Evolutionary and collaborative software architecture recovery with Softwareonaut. *Science of Computer Programming*, 79, 204-223.
- [11] Sillito, J., Murphy, G. C., & De Volder, K. (2006, November). Questions programmers ask during software evolution tasks. In Proceedings of the 14th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering (pp. 23-34). ACM
- [12] Fittkau, F., Krause, A., & Hasselbring, W. (2015, September). Exploring software cities in virtual reality. In Software Visualization (VISSOFT), 2015 IEEE 3rd Working Conference on (pp. 130-134). IEEE.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Aracic, I., & Mezini, M. (2006). Flexible abstraction techniques for graph-based visualizations. In Eclipse Technology eXchange workshop (eTX) at ECOOP.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Vegas, S. (2015). What Makes a Good Empirical Software Engineering Thesis?: Some Advice.
- [21] Kampenes, V. B., Dybå, T., Hannay, J. E., & Sjøberg, D. I. (2007). A systematic review of effect size in software engineering experiments. *Information and Software Technology*, 49(11), 1073-1086.

# Strategies for Mobile Web Design

Alex Cazañas

University of Queensland

Brisbane, Australia

[alex.cazanasgordon@uqconnect.edu.au](mailto:alex.cazanasgordon@uqconnect.edu.au)

Esther Parra

Escuela Politécnica Nacional

Quito, Ecuador

[esther.parra@epn.edu.ec](mailto:esther.parra@epn.edu.ec)

**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 the three strategies intends to provide a clear understanding of their advantages and disadvantages in terms of cost and user experience.

**Keywords**—mobile web design; graceful degradation; progressive enhancement; responsive web design; adaptive web design; separate site

## I. INTRODUCTION

Fueled by increasing capable and affordable devices, as well as faster networks; mobile usage is expanding rapidly. According to CISCO, global mobile data traffic reached 2.5 exabytes per month at the end of 2014. The same report states that globally, 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 [1]. 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.

## II. 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 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 [2] 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 [3] 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 [4], and Chen, Xie, Ma, and H. Zhang [5] 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 [6] argues that a separate strategy is beneficial for mobile sites because its ability of customization. However, Champeon [7] 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 [8] 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 [9] 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 W3C [10]. 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.

## III. 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 [11]. 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. The purpose of the attribute is display an alternate text to the image. Users whose browser cannot render the image will see the alternate text [12].

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 first introduced the term progressive enhancement in 2003 [7]. Progressive enhancement shares with graceful degradation the concern for making a website work across a variety of browsers and devices. Gustafson [13] 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 & Draganova [14] claim that this strategy brings a number of benefits, namely: improved semantics, accessibility, performance, and search engine optimization (SEO), reduced costs of maintenance and facilitates the inclusion of advanced features. Similarly, Garrett [12] 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 [15]. 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 [8], 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. In 2010, Marcotte proposed a solution to this problem, and coined the term Responsive Web Design [8].

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.



FIGURE 1 – EXAMPLES OF DIFFERENT LAYOUTS OF RESPONSIVE WEBSITES [1]

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.

RWD presents a convenient approach to multi-device design, but it does not provide a solution to other problems on mobile web design. A number of studies report that in terms of performance, RWD scores lower than expected [16-19]. Similarly, Robbins [6] argues that RWD is good in adjusting the visual appearance, but in order to provide the best experience it requires optimization. Kim [20] 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)

In 2013, Gustafson [11] 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 [21]. 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 [12] 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 [12].

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 [6]. As a result, the two versions of the website deliver different experiences. Figure 2 shows an example of mobile site and its full version.

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 as 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.

*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 I, presents a summary of the technical aspects of each approach, and compares them in terms of technology requirements, constraints 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 CSS 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 as server-side development and CSS frameworks (ie. Bootstrap).



FIGURE 2 – EXAMPLE OF SEPARATE SITE [22]

TABLE I. TECHNICAL COMPARISON

	Separate site	Adaptive design	Responsive design
<i>Technology (apart from HTML)</i>	Server-side redirection	CSS JavaScript	CSS3
<i>Resources</i>	HTML/JavaScript developers	HTML/JavaScript/Server developers	HTML/JavaScript developers/CSS framework
<i>UX design constrains</i>	No constrains	Few constrains	Content parity
<i>Maintenance cost</i>	HIGH Manage two sites	LOW – MEDIUM Single set of content, plus customization	LOW One set of content
<i>Implementation cost</i>	HIGH Building two sites	MEDIUM – HIGH Building customized components	LOW – MEDIUM Single baseline, but testing may increase cost
<i>Performance</i>	HIGH	MEDIUM – HIGH Depends on technology	LOW

Adapted from [23]

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 than building two separate sites.

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 II 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.

The 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.

TABLE II. USER EXPERIENCE COMPARISON

	<b>Separate site</b>	<b>Adaptive design</b>	<b>Responsive design</b>
<i>Pixel perfect design</i>	Control total	More control than responsive	Less control Tightly coupled code to design
<i>Content parity</i>	Device-specific content and features	Content and features may be customized for specific devices	Content is the same on all devices
<i>Design layout patterns</i>	One for each device	One for group of devices	One for each set of breakpoints
<i>Navigation</i>	Optimized for mobile devices	Optimized for each device	May present navigation issues, unless mobile-first strategy used

Adapted from [23]

#### IV. 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 I), 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 II), 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.

#### V. REFERENCES

- [1] CISCO, «Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014–2019 White Paper,» 2014. [En línea]. Available: [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white\\_paper\\_c11-520862.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.pdf).
- [2] M. Florins and J. Vanderdonckt, "Graceful degradation of user interfaces as a design method for multiplatform systems," in IUI, 2004, pp. 140-147.
- [3] C. Wong, H. Chu, and M. Katagiri, "A single-authoring technique for building device-independent presentations," in Proc. of W3C Workshop on Device Independent Authoring Techniques (St. Leon-Rot, 15-26 September 2002), 2002,
- [4] A. Artail and M. Raydan, "Device-aware desktop web page transformation for rendering on handhelds," Personal and Ubiquitous Computing, vol. 9, pp. 368-380, 2005.
- [5] Y. Chen, X. Xie, W. Ma, and H. Zhang, "Adapting web pages for small-screen devices," Internet Computing, IEEE, vol. 9, pp. 50-56, 2005.
- [6] J. N. Robbins, Learning Web Design: A Beginner's Guide to HTML, CSS, JavaScript, and Web Graphics" O'Reilly Media, Inc.", 2012.
- [7] S. Champeon. (2003). Progressive Enhancement and the Future of Web Design [Online]. Available: [http://www.hesketh.com/publications/progressive\\_enhancement\\_and\\_the\\_future\\_of\\_web\\_design.html](http://www.hesketh.com/publications/progressive_enhancement_and_the_future_of_web_design.html)
- [8] E. Marcotte. (2010). Responsive Web Design [Online]. Available: <http://alistapart.com/article/responsive-web-design>
- [9] B. S. Gardner, "Responsive web design: Enriching the user experience," Sigma Journal: Inside the Digital Ecosystem, vol. 11, pp. 13-19, 2011.
- [10] World Wide Web Consortium. (2008). Mobile Web Best Practices 1.0 [Online]. Available: <http://www.w3.org/TR/mobile-bp>
- [11] A. Gustafson, Adaptive Web Design. Chattanooga, TN: Easy Readers, 2013.
- [12] R. Garrett, Pro SharePoint 2013 Administration. Berkeley, Calif: Apress, 2013.
- [13] A. Gustafson, "Understanding progressive enhancement," A List Apart, vol. 269, 2008.
- [14] J. Wells and C. Draganova, "Progressive enhancement in the real world," in Proceedings of the Eighteenth Conference on Hypertext and Hypermedia, 2007, pp. 55-56.

- [15] A. Weiss, "The web designer's dilemma: when standards and practice diverge," *netWorker*, vol. 10, pp. 18-25, 2006.
- [16] A. Rudger. (2014). You can Run, but You can't Hide from Performance [Online]. Available: <http://www.keynote.com/resources/blog/2014/february/you-can-run-but-you-cant-hide-from-performance/>
- [17] G. Podjarny. (2013). Real World RWD Performance – Take 2 [Online]. Available: <http://www.guypo.com/real-world-rwd-performance-take-2/>
- [18] S. Mohorovicic, "Implementing responsive web design for enhanced web presence," in 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, 2013, pp. 1206-1210.
- [19] ActiveMobi. (2014). Dedicated Mobile Vs. Responsive Websites – the State of Affairs [Online]. Available: <http://activemobi.com/blog/dedicated-mobile-vs-responsive-websites-state-of-affairs>
- [20] B. Kim, "Responsive Web Design, Discoverability, and Mobile Challenge," *Libr. Technol. Rep.*, vol. 49, pp. 29, 2013.
- [21] R. Cremin. (2011). Mobile Web Content Adaptation Techniques [Online]. Available: <http://mobiforge.com/design-development/mobile-web-content-adaptation-techniques>
- [22] L. Wroblewski. (2011). Why Separate Mobile & Desktop Web Pages? [Online]. Available: <http://www.lukew.com/ff/entry.asp?1390>
- [23] EffectiveUI. (2014). Mobile Website Design: Responsive, Adaptive Or both? [Online]. Available: <http://www.slideshare.net/effectiveui/mobile-website-design-responsive-adaptive-or-both>

# Informal training based on a digital academic repository managed by a Facebook app

## Herramienta para el Seguimiento del Proceso de Formación Informal utilizando un Repositorio digital académico en Facebook

Adolfo Calle-Gómez

Facultad de Sistemas

Universidad Técnica de Ambato

Ambato, Ecuador

Email: ax.calle@uta.edu.ec

Félix Fernández-Peña

Facultad de Sistemas

Universidad Técnica de Ambato

Ambato, Ecuador

Email: fo.fernandez@uta.edu.ec

Pilar Urrutia-Urrutia

Facultad de Sistemas

Universidad Técnica de Ambato

Ambato, Ecuador

Email: elsapurrutia@uta.edu.ec

**Abstract**—The study of the process of in social network services' training is characterized by the analysis of the usability of Facebook in the academia. Unlike other authors, our aim is to interfere in the collaborative process taking place in a Facebook group. Our proposal involves the creation of a digital academic repository managed by a Facebook app. The product is addressed to the academic community that cooperates in the social media. This paper presents the results in the construction of the aforementioned Facebook app. A quantitative measure of the impact of such a digital repository was achieved. The objective was to evaluate its usability for supporting decision making in the informal learning process. Results show that the app guarantees the feedback to the educative community through the quantitative measure of the impact of the use of the social media in the process of informal academic training. As an added value, the tool guarantees the communication between followers and detractors of the use of Facebook in the academia.

**Keywords**—social network, Facebook group, collaboration, informal learning, academia.

**Resumen**— El estudio del proceso de formación en el ámbito de las redes sociales ha estado caracterizado fundamentalmente por el análisis del uso que tiene Facebook en determinado contexto académico. A diferencia de otros autores, nos hemos propuesto intervenir en el proceso de colaboración en grupo que tiene lugar con la implementación de un repositorio digital académico en Facebook, como producto dirigido a la comunidad académica en la red social. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la construcción de una herramienta para la gestión cuantitativa del impacto de dicho repositorio en la formación académica. El objetivo es evaluar su uso como apoyo a la toma de decisiones en el proceso de aprendizaje informal. Como resultado, se comprobó que la aplicación garantiza la

retroalimentación a los usuarios de la comunidad educativa, en lo que permite evaluar cuantitativamente el impacto del uso de la red social en el proceso de formación académica informal. Como valor agregado, garantiza además la comunicación entre usuarios adeptos y detractores del uso de Facebook en el ámbito educativo.

**Palabras clave**—red social; grupo Facebook; colaboración; aprendizaje informal; academia.

### I. 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 [1]. 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 [2][3][4].

A partir de las ventajas del uso de los grupos Facebook señaladas por algunos autores [5] [6] [7] [2] [8] [9] [3] [10] [11] [4] y las desventajas señaladas por estos mismos autores y por otros [12] [13] [2] [8] [6] [14] [15], en vez de adaptar el Grupo Facebook al entorno de la gestión académica, decidimos construir un repositorio digital académico como aplicación Facebook. El objetivo de la construcción de esta

aplicación, llamada Sigma [16], fue explotar las funcionalidades que se han valorado positivamente y reforzar en la herramienta las limitaciones que han sido detectadas en el uso de los grupos Facebook en el ámbito académico. El resultado ha sido 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 [16]. Para detalles de su funcionamiento se sugiere consultar el demo disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=adJ8Q8L17M>

Con el trabajo de investigación llevado a cabo, a partir de la evaluación de resultados del desarrollo de Sigma, nos propusimos implementar una herramienta, conocida como Gamma, para la gestión de la información acumulada por Sigma. Con ello, se pretende apoyar la toma de decisiones en el proceso de enseñanza-aprendizaje informal que tiene lugar utilizando la red social.

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 de información y de las acciones sociales de los miembros de la comunidad que utiliza Sigma en el proceso de aprendizaje informal que tiene lugar y 2) en qué medida permite evaluar cuantitativamente el impacto del uso de la red social en el proceso de formación académica. El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera. A continuación se presenta un análisis de los trabajos relacionados con la temática para dar paso luego a la definición de la propuesta. En la sección 4 se analizan los resultados de la validación de la propuesta para finalmente arribar a conclusiones.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Aun cuando Facebook es una red social no concebida con fines académicos, múltiples estudios se han enfocado en las posibilidades de su uso como herramienta de apoyo al aprendizaje [5] [6] [10] y, de forma particular en los últimos años, como herramienta de enseñanza/aprendizaje informal a través del uso de los “Grupos Facebook”[17] [4].

Sin embargo, múltiples estudios aluden las dificultades de utilizar una herramienta que no fue concebida con fines educativos en el entorno académico [12] [2] [8] [15]. También se ha señalado que los docentes no son ávidos a utilizar Facebook en el proceso docente [2] [6], lo que hace ver a los estudiantes como nativos y a los docentes como inmigrantes digitales [6]. Con Facebook como una de las redes sociales de mayor éxito, y la red social por excelencia para los estudiantes universitarios [4], múltiples autores se han dedicado al estudio de la interacción docente-estudiante en esta red social para determinar cuáles podrían ser sus beneficios y qué debería evitarse, pero sin tener en cuenta las posibilidades de extender la implementación de Facebook.

La mayoría de los estudios consultados se refieren a análisis cualitativos cuyo resultado se avala por el procesamiento estadístico de las encuestas realizadas [12] [5] [13] [2] [8] [6] [7] [14] [10] [18] [11]. Otros, en cambio, se

han basado en las capacidades 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 [5][17].

Algunos autores han señalado la posible afectación de las redes sociales sobre el tiempo que el estudiante dedica a la lectura [6] [2] y al estudio, en general [12] [15], llegando a considerarse hasta como una posible adicción [14]. 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 [18] [19] [20].

En este sentido, la construcción de Sigma persiguió evitar la distracción que el entorno social puede generar y, al mismo tiempo, aprovechar sus bondades en cuanto al fortalecimiento de la capacidad de trabajo en equipo de los estudiantes que es capaz de generar, y de explotar el espacio disponible para la gestión de información dentro de Facebook [16], una plataforma que, con fines docentes o no, los estudiantes utilizan de forma generalizada [4].

Sigma permite publicar recursos educativos en el grupo de estudiantes y docentes al que se pertenece dentro de la aplicación Facebook construida, y ejercer acciones sociales sobre lo publicado por la comunidad. A diferencia de un grupo Facebook, además de a través de la línea temporal en que tienen lugar las publicaciones, los usuarios pueden realizar búsquedas por clasificación del contenido, autor y relevancia social de dicho contenido. La forma en que se determina la relevancia social constituye un aspecto relevante por cuanto los usuarios conocen sobre la aceptación de los recursos educativos (y de sus autores) en la comunidad y resulta adaptable a la construcción de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

## III. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Sigma es un espacio dedicado a la gestión académica dentro de Facebook en el que interactúan profesores y estudiantes como parte de un proceso de formación informal a través del compartir, leer, clasificar y el evaluar de recursos educativos publicados por los miembros de la comunidad, siguiendo una estrategia de aprendizaje colaborativo. De esta forma se prevé fortalecer el trabajo en grupo y estrechar lazos entre estudiantes y docentes [16].

Las acciones sociales realizadas a través de Sigma (shares, visits, likes) son registradas en una base de datos propia de la aplicación. En la figura 1 se muestra el modelo relacional de Sigma. Como parte de este trabajo, nos propusimos explotar la información que se registra en la base de datos de Sigma Diseño del Modelo de Datos de Sigma, en pos de la gestión del aprendizaje informal desde el punto de vista académico.

Pretendemos comprobar si el medir cuantitativamente el valor social de recursos de información y de autores sirve como retroalimentación del proceso de aprendizaje. La

aplicación Gamma procesa los datos registrados por Sigma y los transforma en estadísticas de apoyo a la toma de decisiones en el ámbito académico y pretende, además, eliminar las barreras entre usuarios del proceso de aprendizaje que están de acuerdo con el uso de las redes sociales y los que no, generando un espacio alternativo para acceder a la información que se comparte en la red social a través de Sigma.

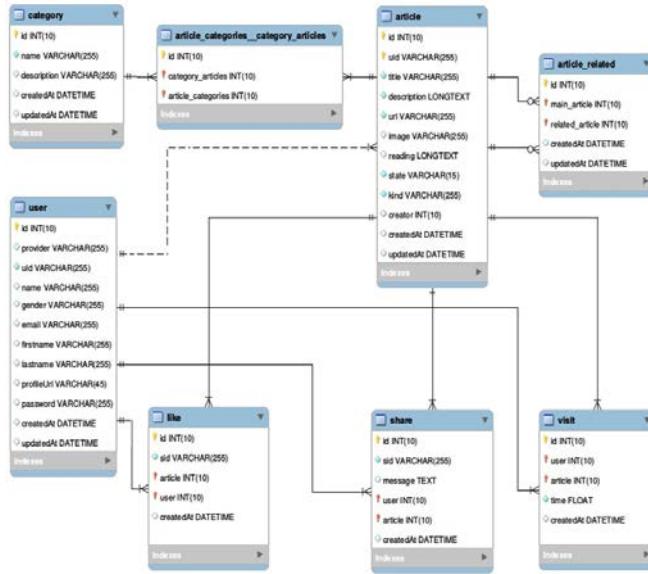


Figura 1. Diseño del Modelo de Datos de Sigma.

Gamma permite realizar tres tareas principales:

- Gestión de recursos educativos.** Cada usuario actualiza la información (y el estado) de los recursos educativos que ha publicado en el repositorio.
- Consulta de estadísticas de la interacción académica en Facebook (Sigma).** Los usuarios utilizan Gamma para conocer estadísticas del funcionamiento del repositorio de recursos académicos.
- Administración de miembros de la comunidad.** Gamma permite la consulta de los recursos educativos y de las estadísticas referentes a su uso por miembros de la comunidad académica, independientemente de si tienen cuenta en Facebook o no.

#### A. Gestión de recursos educativos

Los miembros de la comunidad académica en Facebook ingresan y actualizan los recursos educativos que publican utilizando el módulo Gamma. Al ser actualizada la información en la base de datos, las actualizaciones quedan automáticamente accesibles en Facebook a través de Sigma. La actualización de información incluye el cambio de las categorías a las que pertenece el recurso educativo.

Si sobre determinado recurso no se realizan acciones sociales en un periodo de tiempo determinado, quien lo publica puede decidir inhabilitarlo en el repositorio a través de Gamma. En este sentido, esta herramienta también se encarga de notificar automáticamente al usuario que comparte

determinado recurso educativo cuando este “deja de utilizarse”.

#### B. Consulta de estadísticas

A través de Gamma, los miembros de la comunidad académica tienen disponibles estadísticas dinámicas del “valor social” de los recursos educativos compartidos (medido en función de la cantidad de acciones sociales ejercidas sobre ellos por la comunidad). Las estadísticas son generadas en función de las preferencias y/o necesidades del usuario. En la figura 2 se puede apreciar una de las vistas de usuario generadas por la herramienta.

Para garantizar un mayor nivel de interactividad y usabilidad de la aplicación, se llevó a cabo un estudio entre bibliotecas JavaScript para la generación de gráficos estadísticos. La valoración de diferentes criterios cualitativos se cuantificó en una escala de uno a tres y el resultado obtenido se muestra a continuación (Tabla I).

Como resultado se seleccionó a Morris JS (<http://morrisjs.github.io/morris.js/>) como la opción que mejor se adapta a los requerimientos del proyecto porque cuenta con una presentación dinámica de datos, por su facilidad de uso, la documentación disponible y la reducida curva de aprendizaje que posee.

TABLA I. COMPARATIVA DE BIBLIOTECAS JS

Aspecto	Biblioteca			
	Chart	Chartist	Morris	NVD3
Open Sources	3	3	3	3
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	14	14	17	16

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  $S_i$ ,  $V_i$  y  $L_i$  la cantidad de Shares, Visits y Likes que recibe el recurso educativo en cuestión  $ri$ . Esta fórmula fue seleccionada utilizando, para ello, la opinión de expertos en el área y de usuarios potenciales que fueron consultados [16].

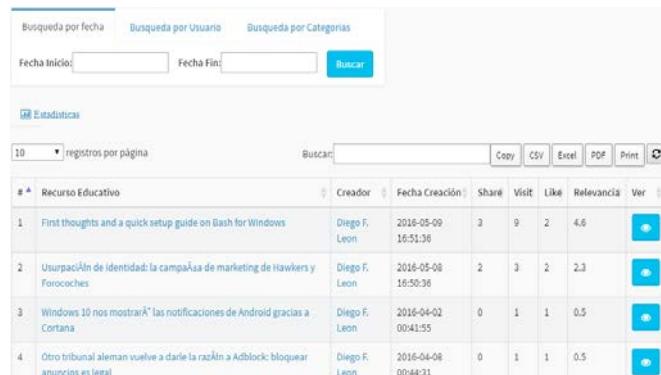


Figura 2. Estadísticas generadas por Gamma.

Por su parte, la actividad de un miembro de la comunidad académica (estudiante o docente) se calcula en base a la relevancia de sus recursos educativos publicados y las acciones sociales generadas sobre los mismos con la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^n R(r_i)$$

donde  $n$  es la cantidad de recursos del usuario en cuestión.

Haciendo un análisis de la medición de estas métricas para las categorías de recursos 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 [4].

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 el caso y tomar las medidas correctivas en el proceso de aprendizaje.

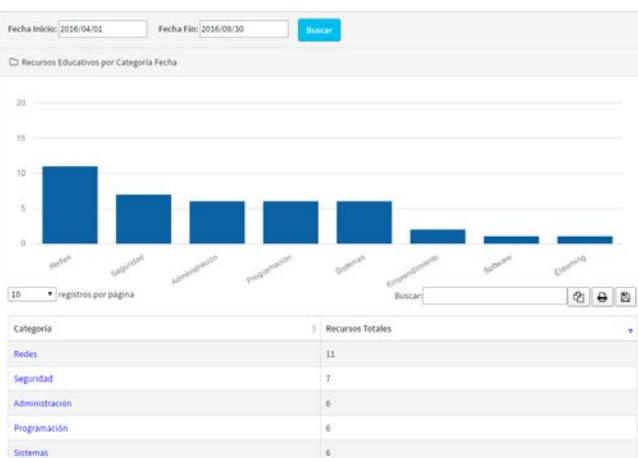


Figura 3. Gráficos estadísticos generados por Gamma.

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; 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, etc.) y descargar las mismas en diferentes formatos entre ellos pdf y Excel.

### C. Administración de usuarios

La autenticación de los miembros de la comunidad académica está implementada en Gamma de dos formas: autenticación Facebook y autenticación 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. En ese caso, no es necesario el registro de usuario y contraseña en Gamma sino que se utiliza la propia credencial de la red social para acceder a una herramienta que, a diferencia de Sigma, no opera dentro del canvas de la red social.

Por más que la comunidad universitaria utiliza de forma masiva Facebook y está, por lo general, de acuerdo con el uso de la red social en el entorno académico, también se tuvo en cuenta a los detractores del uso de la red social. Teniendo en cuenta las dificultades enfrentadas cuando miembros de una comunidad académica no están a favor del uso de Facebook en el ámbito académico, que fueron documentadas en investigaciones previas [9], la aplicación permite que miembros de la comunidad académica se registren en Gamma con credenciales que se almacenan en la base de datos de la aplicación. De esta forma, todo usuario tiene la posibilidad de autenticarse a través de Facebook o directamente en la aplicación. Este sería el caso de 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) en la comunidad académica. El respeto a la autodeterminación reclamado en trabajos previos [9] demanda esta funcionalidad. Para más detalles del funcionamiento de la herramienta Gamma se sugiere consultar <http://blog.uta.edu.ec/soman/>.

## IV. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

Para la validación de la propuesta, se llevó a cabo un experimento que permitió evaluar, en la práctica, el rendimiento y usabilidad de la herramienta.

### A. Diseño de 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 de los resultados. Los datos del uso experimental de Sigma durante seis meses se pusieron a disposición de un conjunto de veinticinco usuarios potenciales (tamaño medio de la comunidad que actualiza una instancia de repositorio digital académico) a través de la aplicación Gamma.

En esas condiciones, se llevó a cabo un experimento en tres fases. En la primera fase se aplicó un cuestionario basado en los criterios de usabilidad de Nielsen [21] para determinar el nivel de usabilidad que apreciaron en el uso de la aplicación. En una segunda fase se le entregó 13 órdenes a cada participante del experimento a través de las cuales se pudo comprobar si el funcionamiento del sistema era el esperado. En la tercera fase de la evaluación experimental, se entrevistó a cada participante en el experimento y se le pidió opinión con relación a la herramienta implementada, en lo que constituyó una evaluación cualitativa de los resultados alcanzados.

#### B. Resultados de la evaluación experimental

Los resultados de la primera fase se tabularon en el cuadro que se muestra a continuación (tabla II).

TABLA II. 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	Ayuda al usuario	-
6	Prevención de errores	92
7	Visibilidad en lugar de rellamadas	92
8	Flexibilidad y eficiencia de uso	96
9	Estética y simplicidad en el diseño	96
10	Ayuda y documentación	-

El resultado demuestra el nivel de usabilidad de la herramienta construida, por cuanto los criterios menos satisfactorio 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. Los criterios no evaluados fueron aquellos en que más de 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. En la segunda etapa, el 100% de las órdenes tuvo éxito, demostrando, de forma práctica, la facilidad de uso de la aplicación. En la tercera parte, los criterios más destacados entre los emitidos por los encuestados fueron que:

1. Gamma garantiza la retroalimentación a los miembros de la comunidad académica.
2. La generación de encuestas es flexible y personalizable.
3. La herramienta complementa satisfactoriamente la gestión del repositorio gestionado en la red social utilizando Sigma.

Por su parte, la recomendación fundamental estuvo asociada a la optimización del mecanismo de recomendación basado en el contenido de los mensajes emitidos por los miembros de la comunidad.

#### V. CONCLUSIONES

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 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. Como trabajo futuro, se pretende la definición formal del proceso de aprendizaje informal soportado por las herramientas construidas y llevar a cabo una evaluación longitudinal de impacto en el rendimiento académico de los estudiantes, además de fortalecer la capacidad de apoyo a la toma de decisiones con un sistema automático de recomendaciones basado en la experiencia de utilización de Sigma y Gamma.

#### RECONOCIMIENTO

Los resultados de investigación que aquí se presentan se han obtenido en el marco de ejecución del proyecto de investigación “Social Media Academic Network (SOMAN). La gestión académica en las redes sociales”, financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Astin, “What matters in college: Four critical years revisited,” *The Journal of Higher Education*, vol. 22, no. 8, 1993.
- [2] R. Junco, “Too much face and not enough books: The relationship between multiple indices of Facebook use and academic performance,” *Computers in Human Behavior*, vol. 28, no. 1, pp. 187–198, 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2011.08.026>
- [3] J. Gordon, “How is language used to craft social presence in facebook? a case study of an undergraduate writing course,” *Education and Information Technologies*, vol. 21, no. 5, pp. 1033–1054, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s10639-014-9366-0>
- [4] F. R. da Cunha Jr, C. van Kruistum, and B. van Oers, “Teachers and facebook: using online groups to improve students’ communication and engagement in education,” *Communication Teacher*, vol. 30, no. 4, pp. 228–241, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/17404622.2016.1219039>
- [5] D. Tsovaltzi, A. Weinberger, O. Scheuer, T. Dragon, and B. M. McLaren, “Collaborative learning in Facebook: Can argument structure facilitate academic opinion change?” *CSCL Conference Proceedings*, pp. 2–5, 2011.
- [6] M. Gómez, S. Roses, and P. Farias, “The Academic Use of Social Networks among University Students,” *Comunicar*, vol. 38, pp. 131 – 138, 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3916/C38-2012-03-04>
- [7] A. N. C. oklar, “Evaluations of Students on Facebook as an Educational Environment,” *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, vol. 3, no.

- April, pp. 42–53, 2012. [Online]. Available: [http://www.tojqi.net/articles/TOJQI\\_3\\_2/TOJQI\\_3\\_2\\_Article\\_4.pdf](http://www.tojqi.net/articles/TOJQI_3_2/TOJQI_3_2_Article_4.pdf)
- [8] M. Yunus and H. Salehi, "The effectiveness of Facebook groups on teaching and improving writing: Students' perceptions," International Journal of Educational and Information Technologies, vol. 6, no. 1, pp. 87–96, 2012.
- [9] J. Pérez, K. Le, and J. de la Cruz, "Integrating Facebook in the classroom: Pedagogical dilemmas," Journal of Instructional Pedagogies, pp. 1–10, 2014. [Online]. Available: <http://www5.aabri.com/manuscripts/131752.pdf>
- [10] T. Puhl, D. Tsvaltzis, and A. Weinberger, "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., 2015.
- [11] M. Michikyan, K. Subrahmanyam, and J. Dennis, "Facebook use and academic performance among college students: A mixedmethods study with a multi-ethnic sample," Computers in Human Behavior, vol. 45, pp. 265–272, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.033>
- [12] P. A. Kirschner and A. C. Karpinski, "Facebook and academic performance," Computers in Human Behavior, vol. 26, no. 6, pp. 1237–1245, 2010.
- [13] R. Junco, "The relationship between frequency of Facebook use, participation in Facebook activities, and student engagement," Computers and Education, vol. 58, no. 1, pp. 162–171, 2011. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.comedu.2011.08.004>
- [14] A. Abdulahi, B. Samadi, and B. Gharleghi, "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, vol. 5, no. 10, pp. 133–145, 2014.
- [15] P.A. Kirschner, "Facebook as learning platform: Argumentation superhighway or dead-end street?" Computers in Human Behavior, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.011>
- [16] F. Fernández-Peña and P. Urrutia-Urrutia, "Construcción de un repositorio digital académico utilizando facebook," in *Tecnología, innovación e investigación en los procesos de enseñanza-aprendizaje*. Edit. Octaedro: Oxford University Press, 2016.
- [17] C. Chun-Jung and W. Sheng-Yi, "A case study exploring junior high school students ' interaction behavior in a learning community on Facebook : Day and time," International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, vol. 12, no. 2, pp. 99–106, 2015.
- [18] R. Junco, "Student class standing, Facebook use, and academic performance," Journal of Applied Developmental Psychology, vol. 36, pp. 18–29, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.appdev.2014.11.001>
- [19] R. Nevzat, Y. Amca, C. Tanova, and H. Amca, "Role of social media community in strengthening trust and loyalty for a university," Computers in Human Behavior, vol. 65, pp. 550–559, 2016.
- [20] F. Brech, U. Messer, B. Vander Schee, P. Rauschnabel, and B. Ivens, "Engaging fans and the community in social media: interaction with institutions of higher education on facebook," Journal of Marketing for Higher Education, pp. 1–19, 2016
- [21] J. Nielsen, *Designing web usability: The practice of simplicity*. New Riders Publishing, 1999.

# Revisión Sistemática de Certificados SSL/TLS como Mecanismo de Seguridad en Servidores de Aplicación.

Mario Enrique Cueva Hurtado, Diego Javier Alvarado Sarango, Roberth Gustavo Figueroa Díaz, Hernan Torres Carrión

Carrera de Ingeniería en Sistemas, Universidad Nacional de Loja  
[mecueva@unl.edu.ec](mailto:mecueva@unl.edu.ec), [djalvarados@unl.edu.ec](mailto:djalvarados@unl.edu.ec), [roberth.figueroa@unl.edu.ec](mailto:roberth.figueroa@unl.edu.ec), [hltorres@unl.edu.ec](mailto:hltorres@unl.edu.ec)

**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 realiza una revisión sistemática de literatura (SLR) de acuerdo a lo propuesto en el artículo de Bárbara Kitchenham, con el fin de aplicar las características necesarias de un certificado SSL/TLS para proveer una conexión segura, se realiza un análisis de criterios de diferentes estudios publicados en 4 bibliotecas digitales (ACM, IEEE, SciencieDirect, Springer), realizando conclusiones relevantes que debe tener un certificado SSL/TLS para asegurar la confidencialidad, integridad y autenticidad en los servidores de aplicación.*

**Abstract** — *Security in the application layer (SSL), provides confidentiality, integrity and authenticity of data, between two communicating applications. This article presents a systematic review of literature (SLR) according to what is proposed in the article by Barbara kitchenham, in order to implement the required characteristics of a SSL/TLS certificate to provide a secure connection, an analysis is made of criteria of different studies published in 4 digital libraries (ACM, IEEE, SciencieDirect, Springer), making relevant conclusions that must have a SSL/TLS certificate to ensure the confidentiality, integrity and authenticity in the application servers*

**Keywords**— X.509, Security in Application Servers, SSL/TLS, ACs, Security Protocols.

**Palabras Clave:** X.509, Seguridad en Servidores de Aplicación, SSL/TLS, ACs, Protocolos de Seguridad.

## I. INTRODUCCION

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 de seguridad, que son implementados para proveer confidencialidad, integridad y disponibilidad, con el fin de brindar 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 protocolo establecidos para las transacciones web están basados en tecnología antigua, a pesar de haberse 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 SSL (Secure Sokets Layer) es el estándar para ofrecer transacciones seguras a través de la Web con los certificados digitales SSL/TLS, brindando protección a la conexión para el intercambio de datos sensibles y protección en el tráfico del protocolo HTTP en la web.

El propósito de este artículo muestra el resultado de una revisión sistemática de literatura, donde enfatiza las características clave de seguridad sobre un análisis crítico de los certificados digitales SSL/TLS como mecanismo de seguridad, con el fin de identificar mejoras sustanciales que incrementan la seguridad de transacciones web. Las siguientes secciones están organizadas de la siguiente manera: En la Sección 2 se puntualiza los antecedentes con información relevante que describa a los certificados SSL/TLS, en la Sección 3 presenta la revisión sistemática de literatura. Para finalmente en la Sección 4 se presentan los resultados y conclusiones que responden a nuestra pregunta de investigación.

## II. ANTECEDENTES

La empresa Netscape Communication, famosa por la creación del navegador web Netscape Navigator, creó y desarrolló en el protocolo estándar SSL (Secure Socket Layer) un procedimiento para proporcionar comunicaciones seguras en la red. Está claro que el cifrado es una de las maneras más eficaces de proteger las redes de comunicación [1][2].

### A. Mecanismos de Seguridad en Servidores de Aplicación [3]

La seguridad está estructurada en función de mecanismos que se traducen a su vez en protocolos que buscan minimizar las debilidades y vulnerabilidades al ser expuesta la información en la red. Los elementos que forman esta barrera son siete y van más allá del hardware y del software; estos elementos son: confidencialidad, integridad, disponibilidad, no repudio, verificación de la identidad, validez legal y confianza de los usuarios.

Es por esto que, para dar respuestas efectivas a los elementos anteriormente mencionados, se cuenta con los protocolos de seguridad web, como el mecanismo más difundido entre los distintos esquemas de seguridad enfocado hacia los servidores de aplicación. Entre los protocolos se encuentran: Secure Sockets Layer (SSL), Transport Layer Security (TLS), Secure – HTTP (S-HTTP), Private Communication Technology (PCT) e IPSec.

La especificación del protocolo HTTPS, combina el protocolo HTTP con el protocolo de cifrado SSL, proporcionando un túnel seguro de comunicación a un servidor, el cual es comúnmente autenticado por un certificado X.509 [1].

### *1) Certificados Digitales SSL/TLS*

Transport Layer Security (TLS) y su predecesor de Secure Sockets Layer (SSL) 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 [4].

Este certificado incluye la identidad del servidor (p.ej.ejemplo.com), un periodo de validez temporal, una clave pública y una firma digital proporcionado por un tercero de confianza. El cliente comprueba que la identidad del certificado coincide con el nombre de dominio solicitado y que el certificado esté dentro de su período de validez al igual que la firma digital sea válida. La clave pública del certificado es utilizado por el cliente para compartir una sesión con el servidor secreto a fin de establecer un canal cifrado [4]. Las Autoridades Certificadoras (ACs) emiten sus certificados y firma digitalmente usando su clave privada para garantizar la integridad del certificado. Los datos en un certificado digital incluyen un número de serie, el algoritmo de cifrado que utiliza, el tamaño de clave pública, periodo de validez y el nombre del emisor [5].

## III. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA (SLR)

El presente artículo se aplicó una revisión sistemática de literatura sobre “Certificados Digitales SSL como Mecanismo de Seguridad en Servidores de Aplicación”, para lo cual se sigue el esquema propuesto de acuerdo el artículo de Bárbara kitchenham [6].

**Planificación de la revisión:** Objetivo de la Revisión Sistemática de Literatura; Formulación de pregunta de Investigación; Palabras Claves; Ejecución de la Revisión Sistemática; Análisis de Resultado; Discusión

### A. Planificación de la Revisión

Este objetivo se cumple respondiendo y verificando la pregunta de investigación.

#### *1) Objetivo de la Revisión Sistemática de Literatura*

Identificar mejoras sustanciales sobre las características clave de seguridad aplicando un análisis crítico de los certificados SSL/TLS como mecanismo de seguridad.

### *2) Formulación de Pregunta de Investigación*

A partir de la temática de “Revisión Sistemática de Certificados SSL como Mecanismo de Seguridad para la Implementación en Servidores de Aplicación” se plantea la siguiente pregunta de investigación referente al tema

**RQ1:** ¿Cuáles son las características clave que un certificado SSL/TLS necesita para proveer una conexión segura?

**RQ2:** ¿Por qué usar certificados SSL/TLS como mecanismo de seguridad para los servidores de aplicación?

**RQ3:** ¿Qué protocolos y estándares utiliza un certificado SSL/TLS?

### *3) Palabras Claves*

La cadena de búsqueda se obtiene de la revisión de artículos que permitan identificar las palabras claves. (Ver Tabla I).

TABLE I. ESTUDIOS PRELIMINARES Y TERMINOS

#	Estudio	Términos
E1	Securing online business with SSL	SSL; Security Online.
E2	Implementation of a Security Layer for the SSL/TLS Protocol	Implementation of a Security Layer, SSL/TLS.
E3	Cryptographic Strength of SSL/TLS Servers: Current and Recent Practices	Cryptographic Strength of SSL/TLS, Network Security; Servers
E4	One Year of SSL Internet Measurement	HTTPS; certificates X.509
E5	SCM Security Solution Based on SSL Protocol	Security Solution; SSL protocol
E6	SoK: SSL and HTTPS: Revisiting past challenges and evaluating certificate trust model enhancements	Certificates; browser trust model; usability; SSL and HTTPS
E7	Security Analysis and Configuration of SSL Protocol	SSL Protocol, data security; Web communication.
E8	Protocolo de Seguridad SSL	Public Key; Private Key; HTTP
E9	Introducción a los certificados digitales	Digital Certificates; A certificate standards formats; Infrastructure Of Certificate
E10	Cryptographic Vulnerabilities in Real-Life Web Servers	Public Key; cryptography; encryption; Information Security

### *4) Selección de Fuentes y Estrategia de Búsqueda*

Se enlista las fuentes donde se realizaron las búsquedas, se tomó en cuenta bases de datos científicas. (Ver Tabla II)

TABLA II  
Fuentes de motores de búsquedas científicas

FUENTES	URL
IEEEXplor	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/">http://ieeexplore.ieee.org/</a>
ACM	<a href="http://dl.acm.org/">http://dl.acm.org/</a>
ScienceDirect	<a href="http://www.sciencedirect.com/">http://www.sciencedirect.com/</a>
Springer	<a href="http://www.springer.com/la/">http://www.springer.com/la/</a>

### 5) Cadena de Búsqueda

Para generar la cadena de búsqueda se utilizó los conectores lógicos “AND” y “OR”, con el fin de obtener la cadena resultante. (Ver Tabla III)

TABLA III  
CADENA DE BUSQUEDA

CADENA DE BÚSQUEDA
TITLE-ABS-KEY ((“Securing online” OR “Implementation of a security layer”) AND (“SSL OR SSL/TLS”) AND (“HTTPS” OR “HTTP”) AND (“data security” OR “Information security”) AND (“Infrastructure of Certificate” OR “Digital Certificates”) AND (“browser trust model”))

### 6) Criterios de Inclusión

Se seleccionaron los estudios más relevantes, excluyendo a los demás artículos revisados tomando en cuenta los siguientes criterios: **Idioma:** Español, Inglés; **Motores de Búsqueda:** ScienceDirect, ACM IEEEXplorer; **Fecha de Publicación:** 2012 – 2016; **Tipos de Producciones Científicas:** artículos.

### 7) Criterios de Exclusión

Los estudios que no han sido relevantes se los descarta tomando en consideración el siguiente criterio: título, resumen y las palabras clave.

#### B. Ejecución de la Revisión Sistemática de literatura

Se especifica a continuación los criterios de selección de estudios, extracción de la información y las cadenas de búsquedas aplicadas en cada exploración avanzada dentro de la base de datos científicas.

#### Ejecución en la base de datos ACM

((“Securing online” OR “Implementation of a security layer”) AND (“SSL OR SSL/TLS”) AND (“HTTPS” OR “HTTP”) AND (“data security” OR “Information security”) AND (“Infrastructure of Certificate” OR “Digital Certificates”) AND (“browser trust model”))

#### Ejecución de la selección de fuentes en IeeeXplorer

(Securing online OR Implementation of a security layer) AND (SSL OR SSL/TLS) AND (HTTPS OR HTTP) OR (Public Key OR Private Key) AND (data security OR Information security) AND (Infrastructure of Certificate) AND (browser trust model)

#### Ejecución de la selección de fuentes en ScienceDirect

((“Securing online” OR “Implementation of a security layer”) AND (“SSL OR SSL/TLS”) AND (“HTTPS” OR “HTTP”) OR (“Public Key” OR “Private Key”) AND (“data security” OR “Information security”) AND (“Infrastructure of Certificate”) AND (“Digital Certificates”) AND (“browser trust model”))

#### Ejecución de la selección de fuentes en Springer

((“Securing online” OR “Implementation of a security layer”) AND (“SSL OR SSL/TLS”) AND (“HTTPS” OR “HTTP”) OR (“Public Key” OR “Private Key”) AND (“data security” OR “Information security”) AND (“Infrastructure of

Certificate”) AND (“Digital Certificates”) AND (“browser trust model”))

### 1) Criterios de Selección de Estudios

Para el cumplimiento del objetivo principal de resultados de la búsqueda deben cumplir el siguiente criterio de selección: Los artículos deben destacar la importancia de implementar los certificados SSL.

### 2) Extracción de la Información

Los criterios dados de inclusión, exclusión y de selección, permitieron identificar los diferentes artículos y revistas digitales con el fin de cumplir el objetivo planteado en esta investigación. Para la extracción importante de cada estudio se utilizó los siguientes elementos: información relevante a los certificados SSL/TLS; características claves para que un certificado SSL/TLS seguro; justificación de las características seleccionadas.

### C. Análisis de Resultados y Hallazgos

En esta sección se realizó un análisis previo donde se evalúa cada estudio discriminando artículos que tienen criterios comunes, estos fueron descartados quedándose con los artículos más relevantes. Se enlistan 8 estudios con las etiquetas S1 a S8, que son los estudios seleccionados de acuerdo a los criterios indicados. Ver tabla ( IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI)

TABLA IV

S1. DIGITAL CERTIFICATES: WORTH THE PAPER THEY'RE WRITTEN ON?	
Información relevante a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Describe las falencias encontradas en los certificados digitales basados en una infraestructura de clave pública en el 2011</li> <li>- Muestra varias infracciones que afectó a las AC (Autoridades Certificadoras).</li> </ul>
Características clave para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar el algoritmo HASH SHA-1</li> </ul>
Justificación de las características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El algoritmo SHA-1 es menos vulnerable a ataques de colisión y mejora el servicio en confrontación con distintas amenazas.</li> <li>- Un tipo de falencias son al utilizar antiguos algoritmos de Hashing como MD5.</li> </ul>

TABLA V  
S2. ONE YEAR OF SSL INTERNET MEASUREMENT

Información relevante a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evalúa la calidad de los servicios HTTPS y su evolución.</li> <li>- Enumera las características básicas que los certificados SSL/TLS poseen y recalca las mejoras que se han venido implementando</li> </ul>
--	---

Características clave para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La longitud de clave no mínima de 2048 bits para certificados EV y de hosts.</li> <li>- TLS versiones 1.1. y 1.2 deben ser preferidos en comparación con los certificados SSL V3</li> <li>- Debe ser emitido por una AC reconocida por los navegadores</li> <li>- Servidores admite extensiones SSL/TLS</li> <li>- Utilizar el certificado estándar X.509</li> </ul>
Justificación de las características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamaños de claves, mejorando la robustez con mayor cifrado.</li> <li>- No utilizar conexiones SSL V2 antiguas que son obsoletas</li> </ul>

**TABLA VI  
S3. ANALYSIS OF THE HTTPS CERTIFICATE ECOSYSTEM**

Información relevante a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio sobre HTTPS, enfatizado en las relaciones de confianza entre las autoridades raíz, autoridades intermedias y el usuario, con el fin de descubrir las prácticas que pueden poner la seguridad web en peligro e identificar problemas frecuentes de configuración que conducen a errores que son vulnerabilidades potenciales.</li> <li>- Entre junio de 2012 y agosto de 2013, estudiaron 110 casos de análisis exhaustivo a todos los hosts que se comunican por HTTPS en el puerto 443, analizando dos cuestiones importantes, la primera es la seguridad en relación con las ACs y la última es las claves que se utilizan para firmar certificados digitales que contienen una mala seguridad de claves RSA de 1024 bits.</li> </ul>
Características clave para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar claves de cifrado mínimo de 2048 bits.</li> <li>- Utilizar el algoritmo de firma SHA-1 y cifrado RSA como mínimo.</li> <li>- Al utilizar los certificados para servicios privados se evita el ataque hombre en el medio (man in the middle).</li> <li>- Tomar en cuenta las Malas configuraciones para el correcto funcionamiento de HTTPS</li> <li>- Que sean emitidos por ACs reconocidas por los navegadores web.</li> </ul>
Justificación de las características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El NIST recomienda que el público deje de usar claves de 1024 bits, en 2016 el poder computacional es mayor por lo cual es necesario generar claves con esa fortaleza de cifrado</li> <li>- Se encuentra que aproximadamente 1.32 millones de hosts que quiere decir el (12,7%) de la mayoría de certificados validos en los navegadores web, están mal configurados o se encuentran fuera de su periodo de valides, de tal manera que deja inaccesibles a los clientes una navegación segura.</li> <li>- Más del 95 % de certificados de confianza usan el tamaño de clave recomendado por NIST. Sin embargo las sobrantes ACs siguen usando claves RSA de 1024 bits.</li> </ul>

TABLA VII

**S4. SoK: SSL AND HTTPS:**

REVISITNG PAST CHALLENGES AND EVALUATING CERTIFICATE TRUST MODEL ENHANCEMENTS

Información relevante	- Evalúa una comparativa de las mejoras a
-----------------------	---

a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>la infraestructura de certificados utilizados en la práctica.</li> <li>- Detalla aspectos basados en el certificado SSL, en el que provee seguridad ante debilidades primitivas como el cifrado débil de longitudes de clave, en la que explica que varias de las funciones ofrecidas en el cifrado de las primeras versiones de TLS ya no se considera seguro</li> </ul>
------------------------	--

Características claves para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Longitud de cifrado con RSA de 2048 bits.</li> <li>- Versión mínima a utilizar en un certificado digital es SSL/TLS V 1.2</li> <li>- Considerar la utilización de los certificados de validación extendida (EV)</li> </ul>
Justificación de las características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las longitudes de claves cortas o algoritmos hash débiles limitará la utilidad de un certificado</li> <li>- Cualquier esquema de cifrado de clave simétrica con 40, 56 o 64 Bit está sujeto a un ataque de fuerza bruta</li> <li>- El NIST recomienda que la fuerza de seguridad requerirá la eliminación de 1024 bits RSA/DSA.</li> <li>- El estudio detalla que la negociación de apretón de manos con SSL 2.0 degrada la seguridad en un servicio web en los ataques de hombre en el medio, esto en SSL 3.0 y las versiones de TLS son corregidas en la actualidad</li> <li>- Los certificados EV se agregó como un nuevo tipo de certificado digital que agregan el color verde en la barra con el nombre de la organización, junto a las direcciones de un dominio público.</li> </ul>

**TABLA VIII  
S5. THE INCONVENIENT TRUTH ABOUT WEB CERTIFICATES**

Información relevante a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Según el análisis empírico a gran escala, muestra que son muy pocos los sitios web que implementan la autenticación basada en certificados implementados correctamente.</li> <li>- Los aspectos más relevantes al problema de utilización de los certificados digitales son los económicos, jurídicos y sociales.</li> </ul>
Características claves para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2048 bits de longitud de clave mínima.</li> <li>- Al usar HTTPS cerrar el puerto Http para que no quede habilitado.</li> <li>- Considerar la utilización de los certificados EV.</li> <li>- Utilizar como mínimo el algoritmo SHA-2.</li> </ul>
Justificación de las características	<p align="center">Malas configuraciones a tomar en cuenta para su correcto funcionamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Certificados caducados</li> <li>- Aviso de incompatibilidad de dominio</li> </ul> <p align="center">Para la selección de una autoridad de certificación reconocida se toma tres aspectos a considerar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Seguridad</li> <li>* Reputación</li> <li>* Usabilidad</li> </ul>

- Es fundamental proporcionar la confianza en la identidad de la organización con los certificados EV.
- Entre las ACs más recomendadas están Verising y Comodo
- Los resultados muestran que casi un tercio de los sitios web pueden ser navegados con HTTPS, sólo el 5,7% de los sitios web implementan HTTPS.

La mayoría de operadores de sitios web optan por adquirir certificados económicos y muchas veces gratuitos para dominios privados, aunque su seguridad se pone en duda. Solo una pequeña fracción de administradores de sitios web, logran una alta seguridad mediante la obtención de certificados EV.

TABLA IX  
S6. COMPUTER NETWORK SECURITY PROTOCOLS

Información relevante a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen varias propuestas de protocolos y estándares de seguridad: como a nivel de aplicación están PGP, S/MIME, S-HTTP, HTTPS, a nivel de transporte como es SSL (Secure Socket Layer) y TLS (Transport Layer Security), a nivel de red como los protocolos Secure IP (IPSec) y el VPnt.</li> </ul>
Características claves para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar la nueva norma SSL/TLS con la versión TLS mas actual que es la TLS V1.2</li> </ul>
Justificación de las características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TLS en su versión actual 1.2 o SSL V3.3 Recogida de la Norma RFC 5246.</li> </ul> <p>Aunque hay muchos protocolos que al igual que SSL proveen seguridad web como S-HTTP, SSL no solo funciona a nivel Web sino que proporciona seguridad a muchos otros protocolos de red.</p>

TABLA X  
S7. AUTHENTICATION SYSTEMS

Información relevante a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se genera un gran esfuerzo para prevenir las formas más simples de ataques como captura de contraseñas a través de la red. Esto se debe al éxito evidente de la ingeniería social, el phishing o ataques con diccionario de datos, por lo que en concreto no existe un sistema que sea seguro en su totalidad.</li> </ul>
Características claves para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los certificados digitales utilizan una arquitectura asimétrica.</li> <li>- Los certificados deben utilizar la función hash más actual para solidificar la seguridad.</li> <li>- Utilización de certificados digitales X.509</li> <li>- Adquirir el certificado digital por medio de una autoridad de certificación reconocida por los navegadores web.</li> <li>- Considerar la utilización de los certificados de validación extendida (EV)</li> </ul>
Justificación de las características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actualmente, la autenticación SSL/TLS se basa casi exclusivamente en la utilización de certificados digitales X.509.</li> </ul>

- Para evitar ataques MITM (hombre en el medio) se realiza el paso de adquisición de los certificados EV que se basa no solo en la validación del dominio del servidor sino en toda la organización.
- La criptografía asimétrica utiliza la autenticación entre una clave privada que nunca se transmite a través de la red y una clave pública vinculada a la identidad del usuario a través de un certificado X.509.

TABLA XI  
S8. TRANSPORT LAYER

Información relevante a los certificados SSL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La red se basa en protocolos, por lo tanto, los protocolos de seguridad repartidos en diferentes capas de red constituyen la base de la seguridad de toda la red. A diferencia de algunos protocolos como IPsec que provee seguridad sobre la capa de internet, las aplicaciones que desean comunicarse de forma segura a través de la capa de internet debe ser capaz de usar el protocolo de comunicación de transporte seguro como lo es SSL/TLS.</li> </ul>
Características claves para un certificado SSL/TLS seguro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los certificados SSL/TLS utilizan la versión más actual del protocolo TLS que es el 1.2</li> <li>- Utilizar el algoritmo de cifrado más robusto SHA 2</li> <li>- Utilizar el certificado estándar ITU-T X.509</li> </ul>
Justificación de las características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las versiones actuales del protocolo TLS como el 1.1 se encuentra sustentado en el (RFC 4346) y TLS 1.2 en la (RFC 5246).</li> <li>- El protocolo TLS/SSL admite varios algoritmos criptográficos que sirven en el proceso de autenticación entre ellos como los HASH que son los usados en la actualidad.</li> </ul> <p>Los certificados X.509 es el estándar utilizado con más frecuencia para los certificados digitales hoy en día.</p>

## IV. RESULTADOS

### 1) Hallazgos

A continuación se presentan los principales hallazgos que se presentó al realizar la Revisión Sistemática.

Los Trabajos S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 y S8 presentan las características claves que los certificados digitales SSL/TLS deben contar, que son: Robustez de Cifrado no menos de 2048 bits, utilizar el estándar X.509; y los certificados SSL/TLS V 1.2 mejorado. Los trabajos S5 y S8 recomienda la utilización del algoritmo SHA-2 por sus bits de cifrado que son mayor a los 160 bits del SHA-1, si bien hay que tener en cuenta según el trabajo S4, menciona el uso del algoritmo SHA-1 pero actualmente ya es obsoleto, a partir del año 2017 las comunicaciones usarán el algoritmo SHA-2.

El trabajo S2, S3, S5 nos especifican adicionalmente otros requerimientos clave para evitar malas configuraciones en el correcto funcionamiento de los certificados SSL: los servidores admitan las extensión SSL/TLS, la fecha de caducidad de los certificados digitales; el certificado digital

debe ser emitido por una AC (Autoridad Certificadora) y evitar que se revoquen los certificados por un aviso de incompatibilidad de dominio.

El trabajo S4 sugiere un aspecto alternativo en mira de la selección de un certificado digital, con la opción de utilizar los certificados SSL EV. De la misma manera define que con la implementación certificados SSL seguros, mejorará el servicio disminuyendo las amenazas como el Phishing.

El trabajo S5 enlista tres aspectos adicionales a considerar para la selección de un certificado digital, que son: **seguridad** (características como bits de cifrado, algoritmos de criptografía robustos); **reputación** (certificados digitales sean reconocidos por los navegadores web); **usabilidad** (garantías de protección, con el fin de proveer confianza al usuario administrador de la plataforma web)

El trabajo S6, S7, S8 puntuiza la importancia que SSL/TLS puede trabajar con varios protocolos como son: HTTP, FTP e incluso el UDP que no es orientado a la conexión, están gran ventaja proporciona la facilidad de uso, que a diferencia de muchos otros protocolos que funcionan bajo una sola capa del modelo TCP/IP.

El trabajo S6 y S8 especifican puntualmente que los certificados digitales SSL/TLS se basan en el estándar RFC 5246 con el protocolo TLS 1.2 que es el más actual en la familia de protocolos TLS.

## V. CONCLUSIONES

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 tercer 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 usar certificados SSL/TLS contrarresta ataques como: hombre en el medio (man 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 evitar malas configuraciones en la utilización de los certificados digitales SSL/TLS en los servidores de aplicación se debe tomar en cuenta cuatro aspectos importantes, primero los servidores deben admitir la extensión SSL/TLS, segundo tener en cuenta la fecha de caducidad de los certificados, tercero el certificado digital debe ser emitido por una AC reconocida por los navegadores web y cuarto evitar que se revoquen los certificados por incompatibilidad de dominio.

Se debe implementar como una alternativa de seguridad los certificados SSL EV (Validación Extendida) en comparación con los certificados SSL/TLS, aunque su emisión dura más tiempo y su costo es más elevado, pero su validación de autenticidad de un sitio web va más allá de su dominio, analizando de manera crítica a la organización con el fin de

garantizar su autenticidad y brindarle mayor confianza al usuario que accede a la página web.

Los protocolos y estándares que utiliza un certificado SSL/TLS definen el uso del protocolo TLS versión 1.2 (o su última versión), esta se basa en el estándar RFC 5246, utiliza la criptografía asimétrica para el inicio del HandShake cliente-servidor.

## LISTA DE ESTUDIOS SELECCIONADOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

- S1. D. Bradbury, “Digital certificates: Worth the paper they’re written on?,” *Comput. Fraud Secur.*, vol. 2012, no. 10, pp. 12–16, 2012.
- S2. O. Levillain, A. Ébalard, B. Morin, and H. Debar, “One year of SSL internet measurement,” *Proc. 28th Annu. Comput. Secur. Appl. Conf. - ACSAC ’12*, p. 11, 2012.
- S3. Z. Durumeric and J. Kasten, “Analysis of the HTTPS certificate ecosystem,” *Proc. 2013 ...*, pp. 291–304, 2013.
- S4. J. Clark and P. C. Van Oorschot, “SoK: SSL and HTTPS: Revisiting past challenges and evaluating certificate trust model enhancements,” *Proc. - IEEE Symp. Secur. Priv.*, pp. 511–525, 2013.
- S5. J. Bonneau and S. Preibusch, “The Inconvenient Truth About Web Certificates,” *Econ. Inf. Secur. Priv. III*, no. 1, pp. 121–167, 2010.
- S6. C. Network and S. Protocols, *17 17.1..*
- S7. A. Systems, “Authentication Systems 3.1.”
- S8. T. Internet, T. C. Proto-, and U. D. Protocol, Transport Layer. 2013.

## REFERENCIAS

- [1] J. Clark and P. C. Van Oorschot, “SoK: SSL and HTTPS: Revisiting past challenges and evaluating certificate trust model enhancements,” *Proc. - IEEE Symp. Secur. Priv.*, pp. 511–525, 2013.
- [2] F. Mu, J. Zhang, J. Du, and J. Lin, “Application of the Secure Transport SSL Protocol in Network Communication,” 2011.
- [3] D. Bracho, C. Rincón, A. Acurero, and N. Silva, “Técnicas de Seguridad en Acceso a WEB: Crítica de Esquemas Actuales y Propuestas de Mejora,” Article, vol. 3, pp. 90–107, 2008.
- [4] Z. Durumeric and J. Kasten, “Analysis of the HTTPS certificate ecosystem,” *Proc. 2013 ...*, pp. 291–304, 2013.
- [5] A. Alrawais, A. Alhothaily, and X. Cheng, “X.509 Check: A Tool to Check the Safety and Security of Digital Certificates,” 2015 Int. Conf. Identification, Information, Knowl. Internet Things, pp. 130–133, 2015.
- [6] B. Kitchenham, “Procedures for performing systematic reviews,” Keele, UK, Keele Univ., vol. 33, no. TR/SE-0401, p. 28, 2004.
- [7] D. Bradbury, “Digital certificates: Worth the paper they’re written on?,” *Comput. Fraud Secur.*, vol. 2012, no. 10, pp. 12–16, 2012.
- [8] O. Levillain, A. Ébalard, B. Morin, and H. Debar, “One year of SSL internet measurement,” *Proc. 28th Annu. Comput. Secur. Appl. Conf. - ACSAC ’12*, p. 11, 2012.
- [9] J. Bonneau and S. Preibusch, “The Inconvenient Truth About Web Certificates,” *Econ. Inf. Secur. Priv. III*, no. 1, pp. 121–167, 2010.
- [10] C. Network and S. Protocols, *17 17.1..*

- [11] A. Systems, “Authentication Systems 3.1.”.
- [12] T. Internet, T. C. Proto-, and U. D. Protocol, Transport Layer. 2013

# Estudio comparativo de NSGA-II y PSO como métodos de optimización multiobjetivo en problemas con frente óptimo de Pareto convexo

## Comparative study of NSGA-II and PSO as multiobjective optimization methods in problems with a convex Pareto optimal front

David Francisco Dorado Sevilla

Facultad de ingeniería  
Universidad de Nariño

Pasto, Colombia

david.dorado.sevilla@gmail.com

Fredy Alexander Guasmayán Guasmayán

Facultad de Ingeniería  
Universidad Mariana  
Pasto, Colombia

fguasmayan@umariana.edu.co

María Janeth Bravo Montenegro

Facultad de ingeniería  
Universidad Mariana  
Pasto, Colombia

mabravo@umariana.edu.co

Diego Hernan Peluffo Ordoñez

Facultad de Ingeniería y ciencias aplicadas  
Universidad Técnica del Norte  
Ibarra, Ecuador  
dhpeluffo@utn.edu.ec

**Abstract**—in this study, two representative algorithms from evolutionary computation are applied to a simple multiobjective test problem with a convex optimal Pareto set in order to identify which one is more efficient finding from the searching space a set of optimal solutions. We describe how these methods inspired by nature works and how they try to find the Pareto set. The results are tested with the metrics generational distance an error rate to determine the efficiency.

**Keywords**—NSGA-II; PSO; multi objective optimization; Pareto set.

### RESUMEN

En este estudio, dos algoritmos representativos de la computación evolutiva se aplican a un problema de prueba multiobjetivo simple con un conjunto óptimo de Pareto convexo con el fin de identificar cuál de los dos es más eficiente encontrando desde el espacio de búsqueda un conjunto óptimo de soluciones. Se describe como funcionan estos métodos inspirados en comportamientos de la naturaleza y como estos intentan encontrar una conjunto Pareto óptimo. Los resultados se analizan utilizando las métricas de rendimiento Distancia Generacional y Razón de Error.

### I. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de optimización, se entiende el logro de determinado objetivo haciendo uso de los recursos disponibles de forma eficiente. Hoy en día, la escasez de recursos obliga a las personas a enfrentar los problemas buscando que su solución sea la mejor posible. El cerebro humano tiene la capacidad de resolver problemas triviales (Mono-Objetivo) de forma directa, pero al ir aumentando su complejidad también aumenta la dificultad para resolverlos, a mayor número de objetivos mayor complejidad. Para cada problema existe un gran espacio de búsqueda en donde se encuentra un conjunto de soluciones óptimas y existe un gran número de métodos que permiten llegar o tratar de acercarse a este conjunto. El desempeño de los métodos puede variar comparando uno respecto a otro y la complejidad de su aplicación puede ser de alto nivel. Para personas que pretenden realizar una optimización multiobjetivo de problemas suaves, puede ser difícil escoger un método eficiente y que tenga poca complejidad. Los algoritmos basados en mecanismos de la naturaleza son los más utilizados debido a su simplicidad.

Este artículo pretende comparar dos algoritmos comunes en la literatura, que permiten optimizar problemas multiobjetivo de forma rápida y sencilla. NSGA-II [4] y PSO [12] son representantes de las ramas de la computación evolutiva y son

puestos a prueba en un problema con frente óptimo de Pareto convexo conocido como ZDT1 [10].

La sección 2 Describe el proceso de optimización y la forma que tiene cada algoritmo para realizar la búsqueda del conjunto que contenga las mejores soluciones posibles, además de las métricas de rendimiento que son utilizadas para determinar la eficiencia del optimizador. La sección 3 expone el problema a optimizar y los parámetros necesarios para la ejecución del algoritmo. En la sección 4 se evidencian los resultados obtenidos y en 6 se realizan las observaciones que surgieron a partir de los resultados.

## II. OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

En optimización multiobjetivo se busca encontrar un conjunto de soluciones que mejor representen las funciones objetivo, teniendo en cuenta las restricciones del problema. Un problema de optimización multiobjetivo puede definirse formalmente como (Van Veldhuizen, 1999) [1]:

$$\begin{aligned} \text{Optimizar } & \mathbf{y} = F(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x})) \\ \text{Sujeto a } & g(\mathbf{x}) = (g_1(\mathbf{x}), \dots, g_m(\mathbf{x})) \leq 0 \\ \text{Donde } & \mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n) \in X \subseteq \mathbb{R}^n \\ & \mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n) \in Y \subseteq \mathbb{R}^n \end{aligned} \quad (1)$$

En general se tiene un conjunto de  $n$  variables de decisión, un conjunto de  $k$  funciones objetivo y un conjunto de  $m$  restricciones, donde  $\mathbf{x}$  es el vector de decisión en un espacio de decisión  $X$  e  $\mathbf{y}$  es el vector objetivo en un espacio objetivo  $Y$ .

El problema de optimización consiste en encontrar un conjunto de soluciones óptimas de tal forma que no se pueda mejorar una sin deteriorar otra, es decir un conjunto Pareto óptimo. Dependiendo de las características del problema, optimizar puede significar maximizar o minimizar  $F(\mathbf{x})$ . Por ejemplo, si se busca que los tiempos de fabricación de un objeto reduzcan hablaríamos de minimizar, o si se busca que un vehículo alcance la mayor velocidad posible se habría de maximizar, todo dependiendo de las necesidades del usuario.

Previo a tomar la decisión de que soluciones son las mejores y cuales deben descartarse se debe conocer el término de dominancia. Este concepto sirve de ayuda para el proceso de clasificación de aquellas soluciones que sean factibles teniendo en cuenta los objetivos y restricciones del problema [2]. En un contexto de minimización se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} u > v & (\mathbf{u} \text{ domina a } \mathbf{v}) \text{ si y solo si } f(u) < f(v) \\ v > u & (\mathbf{v} \text{ domina a } \mathbf{u}) \text{ si y solo si } f(v) < f(u) \\ u \sim v & (\mathbf{u} \text{ y } \mathbf{v} \text{ no son comparables}) \text{ si y solo si} \\ & f(u) \not\leq f(v) \wedge f(v) \not\leq f(u) \end{aligned} \quad (2)$$

Teniendo en cuenta que el vector  $\mathbf{x} \in X$ , se dice que  $\mathbf{x}$  es no dominado respecto a un conjunto  $V \subseteq X$  si y solo si  $\mathbf{x} > \mathbf{v}$  o  $\mathbf{x} \sim \mathbf{v}$ ,  $\forall \mathbf{v} \in V$ . De lo anterior se dice que si  $\mathbf{x}$  es no dominado por ningún elemento de  $V$  entonces es una solución Pareto óptima. De lo anterior puede definirse un conjunto Pareto óptimo como:

$$X_{true} = \{\mathbf{x} \in X \mid \mathbf{x} \text{ es no dominado respecto a } X\} \quad (3)$$

Donde el frente óptimo está formado por el conjunto de vectores objetivo  $\mathbf{Y}_{true} = F(X_{true})$

### A. Metaheurísticas

Las técnicas de optimización se dividen en técnicas exactas (determinísticas) y en técnicas estocásticas (probabilísticas). Las metaheurísticas, que son una familia de algoritmos estocásticos que guiados por un conocimiento experto recorren en forma iterativa el espacio de búsqueda del problema, son el principal interés en este artículo.

Aquí se aborda la computación evolutiva que incluye aquellos algoritmos inspirados en mecanismos propios de la Naturaleza. Sus ramas principales son los algoritmos genéticos y la inteligencia de enjambres. Para nuestro estudio comparativo utilizaremos un representante de cada una de las ramas mencionada anteriormente, el algoritmo NSGA-II para la primera y el PSO para la segunda.

1) *NSGA-II (Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II)*: El NSGA-II [4] es la versión mejorada de [5] que elimina los problemas de alta complejidad computacional y la necesidad de especificar un parámetro de intercambio. Esta nueva versión, comienza creando una población de padres  $P_0$  de manera aleatoria. Luego se realiza un ordenamiento no dominado en donde se determinan los frentes de Pareto. A cada función se le asigna un rango igual a su nivel de no dominancia (siendo 1 el mejor). Aquí se asume que el rango debe disminuir. Para crear la población de descendientes  $Q_0$  de tamaño  $N$ , se utilizan la selección por torneo, cruce y mutación.

Luego de la primera generación el procedimiento es diferente, pues para lograr el elitismo se compara la población actual con las mejores soluciones no dominadas encontradas anteriormente. Así se tiene lo siguiente:

- Se forma una población combinada  $R_t = P_t \cup Q_t$ , luego esta se clasifica de acuerdo a la no dominancia y se encuentran los frentes de Pareto.
- Se crea una población  $P_{t+1}$ , a partir de los frentes encontrados anteriormente.
- Para escoger exactamente una población de  $N$  miembros se clasifican las soluciones del último frente

usando el comparador de apilamiento que, al comparar dos soluciones, escoge la de menor rango y si son de rangos iguales se escoge la de la región menos poblada, esto se hace en orden descendente. El rango y la distancia de apilamiento se calculan durante el proceso de formación de  $P_{t+1}$ .

- Luego de  $P_{t+1}$ , se usa la selección cruce y mutación para crear la nueva  $Q_{t+1}$ . Las dos son de tamaño N.

La diversidad entre soluciones no-dominadas se introduce usando el procedimiento comparación de apilamiento, que se usa en la selección por torneo y durante la fase de reducción de la población. El pseudo código del NSGA-II se muestra en Algoritmo 2.1 [4].

---

#### Algoritmo 2.1 NSGA-II

---

- 1: **Inicializar una población:**
  - 2: Generar aleatoriamente una población.
  - 3: Evaluar la aptitud.
  - 4: Asignar un nivel basado en la dominancia de Pareto – “ordenar”.
  - 5: Generar una población siguiente:
  - 6: Selección mediante un torneo binario.
  - 7: Recombinación y mutación.
  - 8: **Para**  $i=1$  hasta el número de generaciones **hacer**
  - 9:   **Para** la población padre e hijo **hacer**
  - 10:     Asignar un nivel basado en la dominancia de Pareto y ordenar.
  - 11:     Generar el conjunto de frentes no dominados.
  - 12:     Sumar soluciones a la siguiente generación, empezando por la primera jerárquica y utilizar el factor de agrupamiento (crowding) en cada frente.
  - 13:   **Fin Para**
  - 14:   Seleccionar los puntos en el frente más bajo y que estén fuera de la distancia del factor de agrupamiento.
  - 15:   Crear la siguiente generación:
  - 16:     Seleccionar mediante un torneo binario.
  - 17:     Recombinación y mutación.
  - 18: **Fin Para**
- 

#### 2) PSO (Particle Swarm Optimization):

La inteligencia colectiva es un paradigma que agrupa técnicas de inteligencia artificial basadas en el estudio del comportamiento colectivo observado en la naturaleza. PSO involucra un conjunto de agentes o partículas conocido como bandada (swarm) que recorre el espacio de soluciones tratando de localizar regiones prometedoras. El recorrido se hace siguiendo una trayectoria definida por la velocidad de la partícula y la memoria del mejor valor encontrado por la misma y el mejor valor encontrado por una partícula de la población. La atracción o fuerza que

dirige a dichas regiones se conoce como presión social. Las partículas se interpretan como posibles soluciones del problema de optimización y son representadas como puntos  $n$ -dimensionales en el espacio de búsqueda.

Así, cada partícula está formada por cinco componentes:

- $\vec{x}$  describe la ubicación de la partícula en el espacio de soluciones.
- Un valor objetivo, se obtiene del cálculo de la función objetivo.
- $\vec{v}$  representa la velocidad de la partícula.
- $pbest$  es el mejor valor objetivo (fitness) encontrado por la partícula hasta el momento.
- $gbest$  es el mejor valor objetivo (fitness) encontrado por una partícula del swarm.

En [6], en el proceso de búsqueda las partículas ajustan su posición de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$v_{id} = w * v_{id} + c_1 * r_1 * (pbest_{id} - x_{id}) + \dots \quad (4.1)$$

$$c_2 * r_2 * (gbest_d - x_{id}) \\ x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (4.2)$$

Donde  $v_{id}$  es el valor de velocidad de la partícula  $i$  en la dimensión  $d$ ,  $c_1$  es el valor de aprendizaje cognitivo,  $c_2$  es el factor de aprendizaje global,  $r_1$  y  $r_2$  son valores aleatorios uniformemente distribuidos en el rango  $[0,1]$ ,  $x_{id}$  es la posición de la partícula  $i$  en la dimensión  $d$ ,  $pbest_{id}$  es el valor en la dimensión  $d$  de la partícula con el mejor valor objetivo encontrado por la partícula  $i$ , y  $gbest_d$  es el valor en la dimensión  $d$  del individuo del swarm que encontró el mejor valor objetivo. El valor  $w$  es importante para la convergencia del algoritmo. En algunos estudios [7] [8], se ha demostrado que, para algunos problemas suaves, el decremento del valor  $w$  en el tiempo permite combinar la exploración de una búsqueda global con la exploración de una búsqueda local. En cada iteración del algoritmo, la dirección que tomara la partícula es modificada considerando los valores  $pbest$  y  $gbest$ . El pseudo código del PSO se muestra en Algoritmo 2.2 [11].

---

#### Algoritmo 2.2 PSO básico

---

- 1: **Fase de Inicialización del cumulo:**
  - 2: **Para** cada partícula  $i$ ,  $i \in [1, N]$  **hacer**
  - 3:   **Para** cada dimensión  $d$ ,  $d \in [1, D]$  **hacer**
  - 4:     Aplicar a  $x_{id}$  un valor aleatorio en el rango  $[X_{\min}, X_{\max}]$
  - 5:     Aplicar a  $pbest_{id}$  el valor de  $x_{id}$
  - 6:   **Fin Para**
  - 7:   Calcular el fitness  $x_i$
  - 8:   Aplicar a valor fitness  $pbest_i$  el valor fitness  $x_i$
  - 9:   Aplicar a  $gbest$  el valor de  $x_i$  si el fitness  $x_i$  es mejor que valor fitness  $gbest$
-

---

```

10: Fin Para
11: Fase de Busqueda:
12: Mientras no se alcance la condición de parada hacer
13:   Para cada partícula  $i$ ,  $i \in [1, N]$  hacer
14:     Para cada dimensión  $d$ ,  $d \in [1, D]$  hacer
15:       Calcular  $vid$ 
16:       Calcular  $xid$ 
17:     Fin Para
18:     Calcular fitness  $xi$ 
19:   Fin Para
20:   Actualizar  $gbest$  con  $xi$  si valor fitness  $xi$  es mejor
      qué valor fitness  $gbest$ 
21:   Actualizar  $pbest_i$  y valor fitness  $pbest_i$  si fitness  $xi$ 
      es mejor que  $pbest_i$ 
22: Fin Mientras
23: Retornar Resultados

```

---

### B. Metricas de Rendimiento

Para evaluar el rendimiento de los dos algoritmos multiobjetivo se utilizan dos métricas que miden la convergencia al frente óptimo de Pareto.

#### 1) Razón de Error ( $E$ ):

Determina la proporción de los vectores objetivo en el conjunto de soluciones encontrado por el optimizador ( $Y_{known}$ ), que se encuentran en  $Y_{true}$  [9]. Entre más cercana sea la razón a 1, habrá menos correspondencia entre el frente de Pareto obtenido y el real. De esta manera un valor  $E=0$  es ideal. Matemáticamente se representa como:

$$E \triangleq \frac{\sum_{i=1}^N e_i}{N} \quad (5)$$

$$e_i = \begin{cases} 0 & \text{si un vector de } Y_{known} \text{ esta en } Y_{true} \\ 1 & \text{en el caso contrario} \end{cases}$$

#### 2) Distancia Generacional ( $G$ ):

Esta métrica es un valor que representa que tan lejos está  $Y_{known}$  del  $Y_{true}$  [9]. Matemáticamente se define como:

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{N}} \quad (6)$$

Donde  $d_i$  es la distancia euclíadiana (en  $X$ ) entre cada vector objetivo que pertenece a  $Y_{known}$  y su miembro correspondiente más cercano en el frente Pareto óptimo real  $Y_{true}$ . Entre más grande sea el valor de  $G$ , más alejado estará el  $Y_{known}$  y el  $Y_{true}$ . De esta manera, un valor  $G=0$  es ideal.

### III. MARCO EXPERIMENTAL

Para lograr determinar el desempeño de los optimizadores antes mencionados, se utiliza un problema de prueba conocido en la literatura como ZDT1 [10] que tiene un frente óptimo de Pareto convexo. Este problema se describe a continuación:

$$\begin{aligned} f_1(x_1) &= x_1 & (7) \\ g(x_2, \dots, x_m) &= 1 + 9 * \sum_{i=1}^m x_i / (m - 1) \\ h(f_1, g) &= 1 - \sqrt{f_1/g} \\ f_2(x) &= g(x_2, \dots, x_m) * h(f_1, g) \end{aligned}$$

Donde  $m=30$  es el número de variables de decisión y  $x_i \in [0, 1]$ . El frente Pareto óptimo real se da para  $g=1$ .

Los dos optimizadores aquí propuestos se compilan y ejecutan en MatLab [12] 10 veces, con el fin de obtener 10 diferentes conjuntos de soluciones óptimas para cada uno y así lograr evaluar la cercanía de los mismos al conjunto óptimo de Pareto real. Se escoge [12] como compilador debido a la facilidad en la programación. En las Tablas 1 y 2, se indican los parámetros utilizados para los dos algoritmos.

Parámetros utilizados en NSGA-II	
Tamaño de población N	100
m	30
Numero de iteraciones	200
Rango, variables decisión	[0 1]
Taza de cruce	0.8
Taza de mutación	0.033
Numero de mutantes	20

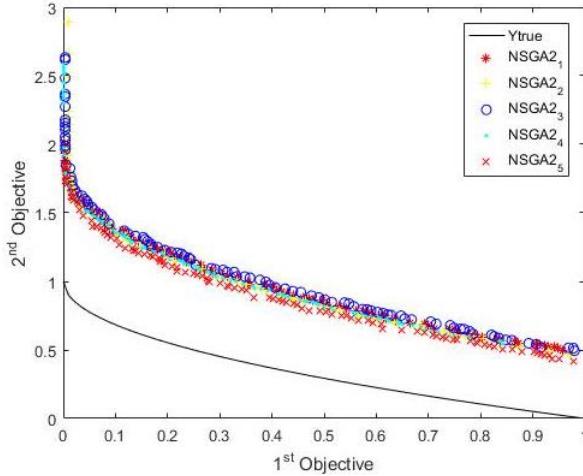
Tabla 1. Parámetros para ejecución del algoritmo NSGA-II

Parámetros utilizados en PSO	
Tamaño de población N	100
variables de decisión	30
Numero de iteraciones	200
Rango, variables decisión	[0 1]
w	0.5
Wdamp	0.99
taza de mutación	0.01
C1	1
C2	2

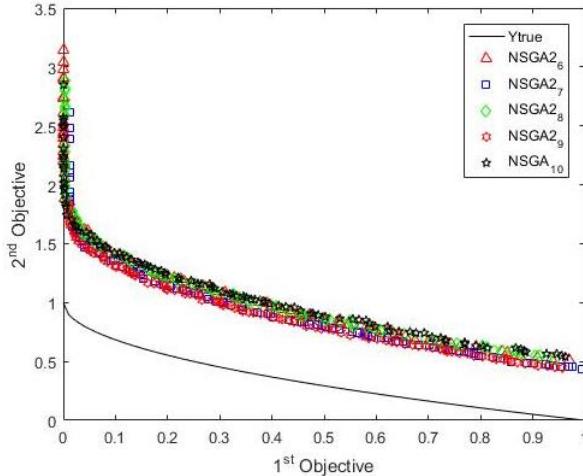
Tabla 2. Parámetros utilizados para ejecución del algoritmo PSO.

#### IV. RESULTADOS

Las Gráficas 1 y 2, muestran los conjuntos de solución encontrados por el NSGA-II en las 10 ejecuciones.

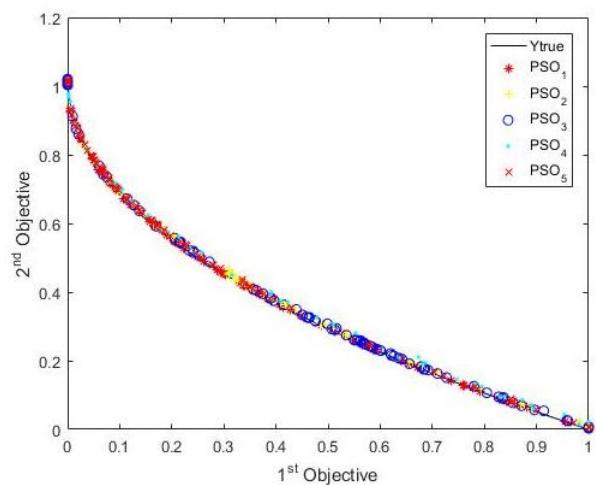


Grafica 1. Conjuntos  $Y_{\text{known}}$  del NSGA-II vs.  $Y_{\text{true}}$ .

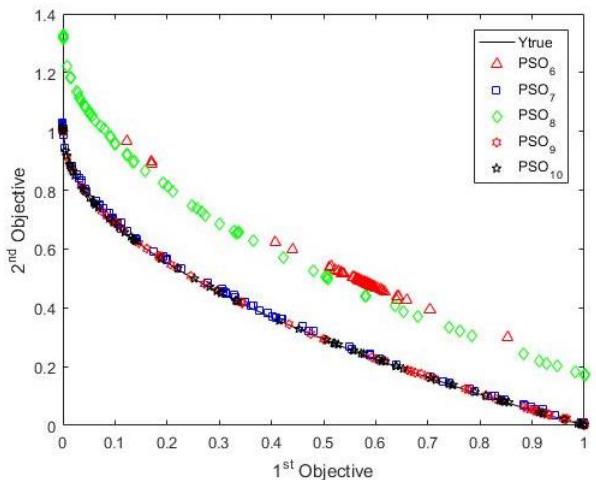


Grafica 2. Conjuntos  $Y_{\text{known}}$  del NSGA-II vs.  $Y_{\text{true}}$ .

Las Gráficas 3 y 4 muestran los conjuntos de solución encontrados por el PSO en sus 10 ejecuciones.



Grafica 3. Conjuntos  $Y_{\text{known}}$  del PSO vs.  $Y_{\text{true}}$



Grafica 4. Conjuntos  $Y_{\text{known}}$  del PSO vs.  $Y_{\text{true}}$

Una vez obtenidos los resultados, se procede a utilizar las métricas de rendimiento antes mencionadas en los 20 conjuntos de soluciones encontrados luego de optimizar el problema ZDT1. La Tabla 3, muestra los resultados obtenidos por la métrica E y la Tabla 4, los resultados de la métrica G.

Para determinar si un vector de  $Y_{\text{known}}$  pertenece al conjunto Pareto óptimo real, se tuvo un margen de error de  $\pm 0.005$  unidades.

Set	NSGA-II	PSO
1	1	0.19
2	1	0.84
3	1	0.65
4	1	0.93
5	1	0.82
6	1	1
7	1	0.89
8	1	1

<b>9</b>	1	0.53
<b>10</b>	1	0.21
<b>promedio</b>	<b>1</b>	<b>0.7060</b>

Tabla 3. Resultados métrica E sobre ZDT1.

Set	NSGA-II	PSO
<b>1</b>	<b>0,0470</b>	<b>0,0007</b>
<b>2</b>	<b>0,0608</b>	<b>0,0009</b>
<b>3</b>	<b>0,0630</b>	<b>0,0008</b>
<b>4</b>	<b>0,0614</b>	<b>0,0015</b>
<b>5</b>	<b>0,0401</b>	<b>0,0010</b>
<b>6</b>	<b>0,0810</b>	<b>0,0200</b>
<b>7</b>	<b>0,0529</b>	<b>0,0012</b>
<b>8</b>	<b>0,0721</b>	<b>0,0224</b>
<b>9</b>	<b>0,0397</b>	<b>0,0007</b>
<b>10</b>	<b>0,0665</b>	<b>0,0007</b>
<b>promedio</b>	<b>0,0585</b>	<b>0,0050</b>

Tabla 4. Resultados métrica G sobre ZDT1.

## V. OBSERVACIONES

Los conjuntos de soluciones obtenidos por el algoritmo NSGA-II que se muestran en las Gráficas 1 y 2, siguen la forma del conjunto Pareto óptimo real pero desplazados aproximadamente una unidad hacia arriba en el espacio de soluciones factibles. Las Gráficas 3 y 4, contienen los conjuntos de soluciones obtenidos por el algoritmo PSO e indican mayor cercanía al conjunto Pareto óptimo real a excepción de los conjuntos PSO<sub>6</sub> y PSO<sub>8</sub>.

La métrica E expone que el PSO encuentra un mayor número de vectores objetivo contenidos en el conjunto Pareto óptimo real que el NSGA-II que no logra ubicar ninguno de estos vectores en el Y<sub>true</sub>.

La cercanía de los conjuntos de soluciones obtenidos por PSO es mucho mayor que la de los conjuntos encontrados por el algoritmo genético, como clara mente lo indican los resultados de la métrica G.

De lo anterior, se puede concluir que para el caso de un problema de optimización multiobjetivo convexo como el ZDT1, el algoritmo PSO tiene mayor efectividad que el NSGA-II a la hora de buscar en el espacio de soluciones factibles un conjunto de soluciones que tenga vectores objetivo muy cercanos o contenidos en el conjunto Pareto óptimo real.

## REFERENCES

- [1] Van Veldhuizen, D. a. (1999). *Multiobjective evolutionary algorithms: classifications, analyses, and new innovations*. *IRE Transactions on Education*.
- [2] Zitzler, E., & Thiele, L. (1999). Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 3(4), 257–271.
- [3] Crichigno, J., & Baran, B. (2004). Multiobjective multicast routing algorithm for traffic engineering. *Proceedings. 13th International Conference on Computer Communications and Networks (IEEE Cat. No.04EX969)*, 0(C), 301–DEB, Kalyanmoy, et al. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 2002, vol. 6, no 2, p. 182-197.
- [4] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182–197.
- [5] Srinivas, N., & Deb, K. (1994). Muiltiojective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms. *Evolutionary Computation*, 2(3), 221–248.
- [6] Shi, Y., & Eberhart, R. (1998). A modified particle swarm optimizer. *Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on*, 69–73.
- [7] Venter, G., & Sobieszcanski-Sobieski, J. (2003). Particle Swarm Optimization. *AIAA Journal*, 41, 1583–1589.
- [8] Zheng, Y., Ma, L., Zhang, L., & Qian, J. (2003). Empirical study of particle swarm optimizer with an increasing inertia weight. *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC '03.*, 2, 221–226.
- [9] Duarte Flores, S., & Barán, B. (2001). Optimización multiobjetivo de redes empleando algoritmos evolutivos paralelos, (Proyecto de tesis).
- [10] Zitzler, E., Deb, K., & Thiele, L. (2000). Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms: Empirical Results. *Evolutionary Computation*, 8(2), 173–195.
- [11] Cagnina, L. C. (2010). Optimización mono y multiobjetivo a través de una heurística de inteligencia colectiva, (tesis de doctorado), 54–72.
- [12] Inc., T. M. (2016). MATLAB (R2016a). *The MathWorks Inc.*

# SCRUM en la educación: Caso de estudio como método de trabajo

Andrea Plaza Cordero, Miguel Arcos Argudo, Rodolfo Bojorque Chasi  
 Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnología de Asistencia, GI-IATA  
 Universidad Politécnica Salesiana, UPS  
 Cuenca-Ecuador  
 aplaza@ups.edu.ec, marcos@ups.edu.ec, rbojorque@ups.edu.ec

**Abstract**— El desarrollo ágil es un conjunto de técnicas que nacieron inicialmente para la gestión de proyectos de software, pero en el transcurso del tiempo han sido exportados a otros tipos de proyectos. Es un cambio radical a las técnicas de desarrollo de sistemas tradicionales; para que un método sea considerado ágil debe cumplir con los 12 principios del Manifiesto Ágil. El desarrollo ágil a diferencia del tradicional tiene un punto a su favor, que es la gestión del cambio, de allí que el presente trabajo se basa en usar la metodología SCRUM como método de enseñanza-aprendizaje en una asignatura, ya que la misma se mueve en un entorno de extrema incertidumbre, no por los contenidos y tiempos, ya que los planes de estudio se encuentran definidos y el período académico es fijo, mas bien porque en cada proyecto el docente establece los requisitos necesarios que justifiquen el cumplimiento del resultado de aprendizaje, además el equipo de trabajo se empodera en el proyecto. El objetivo de este estudio es evaluar la posibilidad de proporcionar a los docentes un método que reduzca el número de deserción de estudiantes. Se tomó como plan piloto una asignatura con 11 estudiantes, en el segundo parcial se implementó el método SCRUM. El enfoque propuesto se basa en tres etapas principales: a) determinación del sprint backlog o lista de tareas de la iteración. b) desarrollo del sprint. c) Entrega del working product. Los resultados obtenidos son prometedores, ya que muestran que el 73% de estudiantes culminaron sus estudios, en comparación con el primer parcial que se tenía un porcentaje de aprobación del 45%.

**Keywords**— *metodologías de desarrollo de sistemas, desarrollo ágil, manifiesto ágil, SCRUM, sprints, educación, pedagogía.*

## I. INTRODUCCIÓN

Las metodologías de desarrollo de sistemas (SDM) se han visto inmersas en un cambio drástico con la aparición del desarrollo ágil, esto debido a que los SDM tradicionales no eran una buena alternativa ante las restricciones de flexibilidad y de tiempo que conllevan los proyectos. Esta nueva metodología ha sido impulsada por la Alianza Ágil, una organización que promueve el desarrollo ágil [3], y que en base a su manifiesto ágil <[www.agilemanifesto.org](http://www.agilemanifesto.org)> indica los siguientes valores:

- Individuos e interacciones sobre procesos y herramientas.
- Software funcionando sobre documentación extensiva

- Colaboración con el cliente sobre negociación contractual.
- Respuesta ante el cambio sobre seguir un plan.

Como se puede apreciar los elementos a quienes da mayor peso son: individuos e interacciones, software funcionando, colaboración con el cliente y respuesta ante el cambio, por lo que el desarrollo ágil es considerada como la más idónea en entornos dinámicos [5], a diferencia de las SDM tradicionales donde el cambio siempre ha sido un problema latente, ya sea porque la participación del cliente toma mayor énfasis en la especificación de requerimientos y se reduce en las siguientes etapas [6] o porque la documentación se vuelve un aspecto burocrático perdiendo de vista en muchos casos el funcionamiento del software, de cualquier manera dependiendo del proyecto y los elementos que intervengan puede resultar uno y otro ventaja.

Como se menciona en los elementos del Manifiesto la documentación extensiva no es un punto que se mantenga y de prioridad en el desarrollo ágil, de allí que el conocimiento que se genere es importante ya que necesita guiar al personal en el desarrollo del software; el conocimiento al no poseer una documentación formal se lo convierte en producto que se lo debe transferir [4], de allí que consideran que todo el equipo debe conocer sobre todo el proyecto no existiendo figuras sesgadas dentro del equipo de trabajo.

En resumen, los 12 principios del Manifiesto hacen hincapié en las interacciones de los desarrolladores y el cliente, la entrega continua de resultados, la colaboración permanente con el cliente, y la capacidad de responder a requerimientos volátiles o cambios que se presenten.

A pesar de que las metodologías ágiles generan una apreciación de no poseer una planificación, esto no es del todo cierto, ya que enfatizan buena parte en el proceso de planificación de la documentación resultante [1].

El desarrollo ágil es un conjunto de metodologías orientadas hacia la gestión de proyectos de software donde tratan que las iteraciones se realicen en períodos cortos de tiempo priorizando el factor humano [2], aquí los usuarios y los desarrolladores trabajan en equipos de preferencia pequeños en todo el transcurso del proyecto, siendo necesario que exista gran colaboración entre los miembros, ya que con los usuarios

se identifica cual será la aceptación satisfactoria en cada iteración, por ende, uno de los aspectos a considerar es que los clientes sean cualificados para adoptar una metodología ágil. Las metodologías ágiles recopilan buenas prácticas de ingeniería de software, aunque su aplicación extrema puede ser objeto de debate y contraproducente [3].

Algunos ejemplos de metodologías ágiles incluyen SCRUM, KANBAN, Programación Extrema (XP) (e.g., [7,8, 9]).

En la misma línea es importante señalar que la mayoría de los estudios realizados en metodologías ágiles son casos de estudio y pocos son estudios empíricos [4], pero estos se encuentran en un enfoque de desarrollo de proyectos de software.

## II. ANTECEDENTE

### A. Scrum

A mediados de la década de los 80s, Hirotaka Takeuchi y Ikujiro Nonaka definieron una estrategia de desarrollo de producto flexible donde su equipo de trabajo llegaba al resultado final como una unidad, igual como en el juego de “rugby”, donde el equipo se pasa el balón hacia atrás y adelante, y van ganando campo hasta llegar a la meta.

Ken Schwaber y Jeff Sutherland adaptan el concepto propuesto por Hirotaka Takeuchi y Ikujiro Nonaka al ámbito de la ingeniería del software, denominándola Scrum y la presentan en 1995 Conferencia internacional sobre programación, lenguajes y aplicaciones orientadas a objetos, siendo una de las metodologías ágiles, desde entonces es una de las más populares, ya que es compatible con todo tipo de empresas y con cualquier tipo de proyecto [11].

Scrum presenta 6 principios que todo proyecto está obligado a seguir para garantizar el resultado deseado, y son:

- Control del proceso empírico: Se refiere a que debe existir transparencia entre el equipo el trabajo, además de la inspección y adaptación al cambio.
- Auto-organización: El equipo de trabajo es responsable de los resultados, por lo que se empoderan del proyecto dando como resultado individuos con un alto compromiso en el trabajo, y no empleados que sólo siguen reglas pero que no tienen ese sentido de responsabilidad.
- Colaboración: El equipo trabaja conjuntamente como una sola unidad, generando un compromiso compartido entre todos.
- Priorización basada en el valor: Se basa en dar el mayor valor de negocio en todo el transcurso del proyecto.
- Asignación de un bloque de tiempo: El tiempo es una restricción, por lo que los sprints, las reuniones diarias, las reuniones de planificación de sprint y las reuniones de revisión de sprint tienen un límite de tiempo que no se debe extender.

- Desarrollo iterativo: Trata sobre el manejo de los cambios en el proyecto mediante sprints cortos de tiempo en donde el cliente recibe una retroalimentación constante viendo los entregables, y en caso de que considere el cliente podrá modificar los requisitos para el siguiente sprint.

Además, Scrum plantea 5 fases con 19 procesos en total en donde se define el flujo a seguir para ejecutar un proyecto, como se muestra en la Tabla I.

TABLE I. RESUMEN DE LOS PROCESOS DE SCRUM [11]

	Fase	Procesos
1	Inicio	1. Creación de la visión del proyecto. 2. Identificación del Scrum Master y el (los) socio(s). 3. Formación de equipos Scrum. 4. Desarrollo de épica(s). 5. Creación de la lista priorizada de pendientes del producto. 6. Realizar la planificación de lanzamiento.
2	Planificación y estimación	7. Creación de historias de usuario. 8. Aprobación, estimación y asignación de historias de usuario. 9. Creación de tareas. 10. Estimación de tareas. 11. Creación de la lista de pendientes del sprint.
3	Implementación	12. Creación de entregables. 13. Llevar a cabo la reunión diaria. 14. Mantenimiento de la lista priorizada de pendientes del producto.
4	Revisión y retrospectiva	15. Convocar el Scrum de Scrums. 16. Demostración y validación del sprint. 17. Retrospectiva del sprint.
5	Lanzamiento	18. Envío de entregables. 19. Retrospectiva del proyecto.

## III. TRABAJO RELACIONADO

La metodología Scrum ha ido evolucionando y perfeccionándose desde su aparición en el año de 1995 con Ken Schwaber y Jeff Sutherland; desde un comienzo el enfoque fue basado en el desarrollo de software, aunque en la década de los 80s, Hirotaka Takeuchi y Ikujiro Nonaka ya habían presentado un enfoque de desarrollo flexible en diferentes casos en la industria de la fabricación [11].

En distintos tipos de proyectos se ha implementado la metodología Scrum [13, 14, 15]. Muchas investigaciones se han desarrollado sobre las metodologías de aprendizaje [16, 17], sin embargo, la mayoría se basan en metodologías basadas explícitamente en la educación, mientras muy poco se ha trabajado con relación a metodologías distintas a las educativas.

[12] introdujeron Scrum al ámbito educativo para el desarrollo de los proyectos estudiantiles, donde un punto a considerar es la colaboración entre los estudiantes, siendo una de las ventajas pedagógicas que les impulsó a su implementación. El aprendizaje basado en proyectos al ser una estrategia de enseñanza rápida y considerada en ocasiones caótica, fue Scrum la mejor manera de afrontar este tipo de proyectos. En el desarrollo de su caso de estudio, determinaron que Scrum funciona mejor cuando los integrantes son multifuncionales y pequeños, pero que estos a su vez ayuden en un proyecto más grande, y así eliminar redundancia.

El presente artículo, no sólo se basa en la implementación para proyectos estudiantiles, sino a todo el ámbito de clases, desde el aprendizaje hasta los proyectos.

#### IV. METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN

##### A. Preguntas de investigación

El objetivo del caso de estudio es obtener evidencia que responda a las siguientes preguntas de investigación: **RQ1:** ¿Ayuda Scrum para responder a los cambios en un proyecto educativo donde la incertidumbre y el tiempo son factores cruciales? **RQ2:** ¿Es Scrum eficaz para la preservación del trabajo de equipo donde los estudiantes suelen trabajar individualmente?

Para responder a RQ1, el docente de la asignatura analiza las evaluaciones formativas y sumativas de cada equipo de trabajo, y en base a un análisis estadístico se determinó la tasa de deserción en comparación con el primer parcial.

Para responder a RQ2, el docente compara las evaluaciones individuales y grupales para determinar si existe un resultado promedio.

##### B. Descripción del Caso de Estudio

Se plantea una propuesta de procedimiento para actuar oportunamente ante el cambio, y así reducir la tasa de deserción. Como el estudio presenta tiempos de ejecución limitados, fue necesario adaptar Scrum al proyecto. La Figura 1 muestra la adaptación de Scrum al estudio planteado.

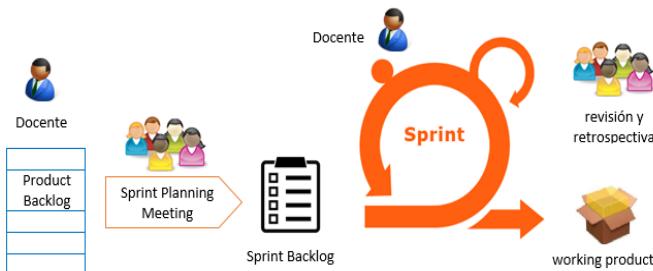


Figura 1. Adaptación de Scrum como método educativo.

El primer paso fue determinar los requisitos del *Product Owner*, en este caso del docente de la asignatura, que fueron descompuestos en una lista de historias de usuario o más conocidos como *product backlog*, luego las historias de usuario o requisitos fueron priorizados en base a los resultados de aprendizaje de la asignatura, como se muestra en la Tabla II.

Se ha planteado dos historias de usuario: Pilas y Colas, Arboles, en la primera historia de usuario se definen dos sprints, mientras en la segunda se definen cinco sprints. Por razones de espacio, me he enfocado en cuatro sprints (de siete sprints). Cabe señalar, que cada sprint corresponde a un subconjunto de requerimientos.

TABLE II. RESUMEN DEL PRODUCT BACKLOG

Priorización	Sprints	
3	Pilas y Colas	Como estudiante debe transformar una expresión infija a postfija.
3	Pilas y Colas	Como estudiante debe la expresión postfija transformarla a infija.
4	Arboles	Como estudiante debe conocer los atributos de los árboles.
4	Arboles	Como estudiante debe crear y eliminar un árbol binario de búsqueda.

El primer día del segundo parcial, se procedió a realizar un *sprint planning meeting* con los estudiantes, que será el equipo de trabajo, con ellos se afinaron los detalles de las tareas que se deben realizar para lograr el objetivo del sprint. Esta actividad dio como resultado el *Sprint Backlog*, que es un documento donde se describen las tareas que se deben realizar para cumplir con el sprint. En la Tabla III se puede apreciar las tareas a desarrollar del Sprint 1; a todos los sprints se les asignó tareas.

TABLE III. SPRINT BACKLOG

Tareas	Sprint 1: Pilas y Colas
1	Solicitar el ingreso de la expresión infija.
2	Transformar la expresión infija a postfija, considerando las reglas de precedencia de los operadores. Es importante presentar cada paso cuando se apile o desapile un número o un operador
3	Con la expresión postfija se va a obtener el resultado final. Es importante presentar cada paso cuando se apile o desapile
4	Realizar informe según el formato respectivo.

Cada sprint tiene un período de dos a tres semanas, periodo que fue definido en base al sprint backlog y en el cual el equipo debe trabajar en las tareas de desarrollo correspondientes; como los estudiantes no presentan dominio en la temática, la ejecución de los sprints se desarrolla posterior a las clases. Una vez que inicia el sprint, no puede ser modificado, sólo en caso de que el cambio modifique todo lo planificado podrá

reconsiderarse y analizar nuevamente, lo cual no sucedió en este estudio, ya que se conocía claramente los requerimientos.

Cuando se concluye con cada sprint los equipos de trabajo entregarán el *working product*. En el *sprint review meeting* el docente valida el producto resultante, y en caso de considerarlo oportuno podrá modificar las historias de usuario para que se cumplan los objetivos de aprendizaje. De allí que Scrum es comparado con en el juego de rugby, que en ocasiones se adelanta o existen retrocesos que deben ser realizados oportunamente, y no como en los modelos de enseñanza tradicionales que se sigue la planificación sin verificar si los estudiantes están participando y generando buenos resultados.

Cuando se finaliza cada historia de usuario, se procedió a realizar una retrospectiva del proyecto total, con el objetivo de agregar una mejora continua al proceso y empoderarles de los proyectos.

Los artefactos y los diferentes talleres que se han planteado realizar son:

- **Evaluación formativa:** Se realiza mediante el proceso de aprendizaje, con el objetivo de brindar retroalimentación hacia el docente y el estudiante sobre el progreso del último.
- **Evaluación sumativa:** Se realiza cuando se ha concluido una temática o un tiempo establecido, para certificar el resultado de aprendizaje.

Con el propósito de validar el estudio, se ha conducido un caso de estudio en el segundo parcial en el período académico Marzo-Agosto 2015 de la asignatura Estructura de Datos con 11 estudiantes y 0 retirados. En ambos parciales se trabajó con el método basado en problemas, en donde los equipos de trabajo tienen que desarrollar proyectos, los cuales poseen el mismo nivel de puntaje y el tiempo de trabajo autónomo de ambos parciales corresponde a 27 horas. En el primer parcial se realizaron las revisiones preliminares a los proyectos sin interferir en los grupos; mientras que en el segundo parcial se cambió la metodología a Scrum, en donde luego de cada revisión conjuntamente con el equipo de trabajo se desarrolló una retroalimentación, y en caso de ser necesario se cambiaron las historias de usuario. Hasta el primer parcial se tenía una media de 35. Por ello, se busca aplicar SCRUM [10] y así reducir la tasa de deserción de los estudiantes. Es importante señalar que los estudiantes ya poseen un nivel considerable en programación, con respecto al dominio de la temática se dictarán las respectivas clases y los requisitos de los proyectos a desarrollar.

En total 12 personas participaron en el caso de estudio, 1 product owner (quien desempeñará ambas tareas de scrum master y de product owner), y 11 estudiantes que forman parte del equipo de trabajo. Según [11] recomiendan que los equipos de trabajo estén conformados de 6 a 10 personas como máximo, por lo que se crearon 4 equipos de trabajo (3 equipos de 3 estudiantes y 1 equipo de 2 estudiantes).

### C. Análisis e interpretación

Las preguntas de investigación se responden mediante la Tabla IV, donde se indica por cada grupo y sprint el

cumplimiento que se ha obtenido, para lo cual utilizo una escala de 1 a 5, siendo 1 insatisfactorio y 5 satisfactorio. Este puntaje lo determino en base a la calificación que haya obtenido el grupo. Cada parcial fue establecido con un puntaje de 50, donde 35 puntos corresponden a resolución de problemas mediante proyectos y 15 puntos a la evaluación sumativa.

TABLE IV. RESULTADOS DE LAS HISTORIAS DE USUARIO

Grupo	Sprint 1	Sprint 2	Sprint 3	Sprint 4
1	3	3.35	3.5	4.3
2	3	4	5	5
3	2	3	2	3.6
4	0	0.2	1.5	2.1

El 73% pasó la asignatura, teniendo una deserción del 27%, es decir que de los 11 estudiantes 8 pasaron.

**RQ1:** ¿Ayuda Scrum para responder a los cambios en un proyecto educativo donde la incertidumbre y el tiempo son factores cruciales? En el Sprint 2 y Sprint 4 se puede observar como el nivel de cumplimiento ha mejorado considerablemente, esto se debe a que en el primer sprint se revisa el cumplimiento con todo el grupo, y en caso de ser necesario el docente modificará la historia de usuario y de igual manera la metodología que esté usando.

Como ventaja considerable puedo indicar que sirvió de reforzamiento para los estudiantes, ya que al identificar que existen falencias se pudo tomar otras medidas para solucionarlo.

**RQ2:** ¿Es Scrum eficaz para la preservación del trabajo de equipo donde los estudiantes suelen trabajar individualmente?

Para responder esta pregunta se utilizaron las calificaciones de las evaluaciones sumativas donde se observa que en la primera evaluación la media es de 6.2, mientras en la segunda evaluación su valor es de 7.8, con lo que deduzco que los trabajos fueron realizados en su mayoría con la intervención de todos los estudiantes.

### D. Evaluación de validación y limitación

Para presentar validez interna de los resultados que se han presentado se los identificó de la siguiente manera: Se ha determinado trabajar con 4 grupos de la misma asignatura, donde se han usado evaluaciones formativas por cada tema, para posterior realizar una evaluación sumativa para aumentar la fiabilidad de los resultados, ya que al tratarse de trabajos en grupos puede llegar a ocurrir que algún miembro del equipo no esté trabajando. Cabe señalar que las evaluaciones se realizaron tanto a nivel de evaluaciones prácticas y teóricas.

Adicionalmente, se realizaron observaciones a los diferentes grupos para determinar el nivel de compromiso y trabajo en equipo, estos resultados no se añadieron en el estudio ya que son subjetivos.

Como limitación, puedo mencionar que como la tendencia de Scrum es trabajar como un equipo, cada equipo era independiente uno del otro por lo que se tenía que llevar las clases en muchos casos de forma independiente, aunque como restricción que impuse en el proyecto es que todas las historias de usuario se debían cumplir hasta la fecha indicada, lo cual se realizó con éxito.

Para finalizar, puedo indicar que al principio se sintió la resistencia por parte de los estudiantes al trabajar en equipos y siendo ellos los responsables de cumplir con los sprints, pero luego de observar los resultados de los siguientes sprints se pudo apreciar que los resultados fueron prometedores. Además, les hizo que se apoyen como equipo y que entre todos se alienten para continuar.

## V. CONCLUSIONES

Con la realización de este estudio se ha comprobado que implementando las buenas prácticas de Scrum se ha tenido éxito y por ende una ventaja pedagógica, ya que en base a los resultados la tasa de aprobación fue del 73%, lo cual significa un gran punto a favor del estudio, puesto que en el primer parcial se tenía apenas el 45%, ya que con las revisiones de los ciclos de sprint, se logró tomar medidas correctivas a tiempo. Es importante indicar que para el primer parcial se tomó como aprobación que el estudiante haya cumplido con un mínimo de 35 puntos, mientras en el segundo parcial corresponde el mínimo a 70 puntos.

Otro aspecto positivo fue, que como Scrum intenta que todo el equipo de trabajo conozca y no exista un especialista; la mayoría de los estudiantes poseen el conocimiento sobre la temática a tratar y la resolución de los proyectos. Además, que al llevar cada grupo el cuadro de dirección, se podía observar las actividades que faltaban por realizar, las que estaban hechas y los responsables, manteniendo un control. A diferencia de la revisión de avances donde por lo general la mayoría de los estudiantes no se empoderan del proyecto.

El caso de estudio permitió evaluar un proceso en un entorno real, en este caso en el ámbito educativo, lo cual es importante ya que existen factores externos que podrían afectar a los resultados de la investigación, e incluso en experimentos formales donde a pesar que se pueda replicar, no se tienen en cuenta factores, ya que se está llevando bajo valores controlados.

El trabajo de equipo resultó de 11 estudiantes, lo cual resultó conveniente como trabajo inicial, aunque Scrum provee mecanismos cuando se trabaja con equipos más grandes, el cual será uno de los trabajos a futuro.

Como trabajo futuro, se está analizando el perfeccionamiento de la implementación de Scrum con un solo grupo y planteando las historias de usuario como una sola unidad. Además, el siguiente estudio se podría presentar en ciclos superiores.

## REFERENCIA

- [1] Boehm, Barry. "Get Ready for Agile Methods, With Care." *IEEE Computer* Jan. 2002.
- [2] A. Cockburn, J. Highsmith, Agile software development: the people factor, *IEEE Computer* 34 (11) (2001) 131–133.
- [3] Paultk, M. C. (2002). Agile methodologies and process discipline. Institute for Software Research, 3.
- [4] Chan, F. K., & Thong, J. Y. (2009). Acceptance of agile methodologies: A critical review and conceptual framework. *Decision Support Systems*, 46(4), 803-814.
- [5] A.S. Koch, Agile Software Development: Evaluating the Methods for Your Organization, Artech House, Boston, 2005.
- [6] S. Nerur, R. Mahapatra, G. Mangalaraj, Challenges of migrating to agile methodologies, *Communications of the ACM* 48 (5) (2005) 73–78.
- [7] Dimes, T. (2015). Conceptos Básicos De Scrum: Desarrollo De Software Agile Y Manejo De Proyectos Agile. Babelcube Inc..
- [8] Kniberg, H., & Skarin, M. (2010). Kanban and Scrum-making the most of both. Lulu. com.
- [9] Beck, K.. "Extreme Programming Explained. Embrace Change", Pearson Education, 1999. Traducido al español como: "Una explicación de la programación extrema. Aceptar el cambio", Addison Wesley, 2000.
- [10] Schwaber, K., & Beedle, M. (2002). Agile Software Development with Scrum.
- [11] SCRUMstudy™. (2016). Una guía para el cuerpo de conocimiento de SCRUM (Guía SBOK™)
- [12] Pope-Ruark, R., Eichel, M., Talbott, S., & Thornton, K. (2016). Let's scrum: How scrum methodology encourages students to view themselves as collaborators. *Teaching and Learning Together in Higher Education*, 1(3), 5.
- [13] Hong, N., Yoo, J., & Cha, S. (2010, November). Customization of scrum methodology for outsourced e-commerce projects. In *2010 Asia Pacific Software Engineering Conference* (pp. 310-315). IEEE.
- [14] Azham, Z., Ghani, I., & Ithnin, N. (2011, December). Security backlog in Scrum security practices. In *Software Engineering (MySEC), 2011 5th Malaysian Conference in* (pp. 414-417). IEEE.
- [15] Williams, L., Brown, G., Meltzer, A., & Nagappan, N. (2011, September). Scrum+ engineering practices: Experiences of three microsoft teams. In *2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement* (pp. 463-471). IEEE.
- [16] Johnson, D.W., & Johnson, R.T. (1999). Making cooperative learning work. *Theory into Practice*, 38, 67-73
- [17] Frederick, T.A. (2008, December). Facilitating better teamwork: Analyzing the challenges and strategies of classroom-based collaboration. *Business Communication Quarterly*, 71 (4), 439-455.

# VALE-Emotions: Teaching mobile application for individuals with Autism Spectrum Disorders

<sup>1</sup>Diana E. Olmedo-Vizueta, <sup>2</sup>Jorge L. Hernandez-Ambato, <sup>3</sup>Diego F. Ávila-Pesantez  
 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH  
 Riobamba, ECUADOR  
<sup>1</sup>[diana.olmedo@espoch.edu.ec](mailto:diana.olmedo@espoch.edu.ec);  
<sup>2</sup>[jorge.hernandez@espoch.edu.ec](mailto:jorge.hernandez@espoch.edu.ec); <sup>3</sup>[davila@espoch.edu.ec](mailto:davila@espoch.edu.ec)

<sup>4</sup>Eleonora Bilotta, <sup>5</sup>Pietro Pantano  
 Physics Department  
 Università della Calabria, UNICAL  
 Arcavacata di Rende, Cosenza, ITALY  
<sup>4</sup>[eleonora.bilotta@unical.it](mailto:eleonora.bilotta@unical.it); <sup>5</sup>[piepa@unical.it](mailto:piepa@unical.it)

**Abstract—** In this paper, an authoring interactive Virtual Advanced Learning Environments (VALE) for Emotion Recognition developed for mobile devices is presented. It consists of several educational activities devoted to strengthen skills in children with Autism Spectrum Disorders (ASD). This application is not limited to developing recognition of emotions in its highest expression intensity. In fact, allows determining the effective recognition at different levels of intensity of each emotion. Such intensive levels are generated by an authoring Dynamic Facial Expressions (DFE) coding. Each learning activity is carried out through training/tests applications. In this way, the users have the opportunity of freely learn and develop skills in a fun way while they develop knowledge. The results of the experimentation of the VALE-Emotions with ASD subjects are also reported. In general, the participants showed efficient response during the development of the activities demonstrating high and fast recognition of certain emotions expressions.

**Keywords—** *emotion recognition; virtual learning; Autism Spectrum Disorders; Dynamic Facial Expressions; mobile application; FACS; MPEG-4*

## I. INTRODUCTION

There are several fields of Special Education where the virtual teaching with advanced technologies is being used. Nowadays, several researchers and educators are working hard together with the developers' systems, to provide innovative and useful tools that offer immediate assistance to patients with special needs. Such tools promote the daily use and integration of New Technologies in special teaching methodologies as evidenced in [1]–[3]. These works have specific expertise in planning educational activities to support individuals with several developmental disorders, including Autism Spectrum Disorders (ASD).

In this context, there are a lot of different studies that confirmed that individuals with special needs have the ability to use and to interpret satisfactorily mobile applications and virtual environments in general [4]–[6]. This ASD subjects also have been proven to have quite affinity with technological means. Nevertheless this subjects have problems understanding the mental and emotional state of other persons around them [7]. For this reason, some studies have been carried out to analyze the identification of

emotions in individuals with ASD, even inside of social situations [8]. However, most of these studies have been only tested up to 10 levels of intensity for each studied emotion. These intensities usually range from neutral to the strongest expression [9]–[13].

When talking about the recognition of emotions, it is inevitable to mention the psychologist Paul Ekman, since his studies were beyond of the empirical knowledge at that time. Regarding the “Basic Emotions”, Ekman describes both the characteristics used in distinguishing one emotion from another and the characteristics shared by all emotions [14]–[17].

In this context, Ekman & Friesen were the pioneers in the development of measurement systems for facial expression [18]. 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 behavior [19], [20]. The FACS basically can distinguish all possible visually distinguishable facial movements. For this gain, it was necessary to discover how each muscle of the face acts to change visible appearance [18], [21]. Based on jobs of Ekman and Friesen, the pictures of facial expressions developed in their works are principally used until today in several studies to reference the emotions recognition. This fact is due to its descriptive power.

In the light of this, at University of Calabria (Italy), an application aimed to support individuals with a diagnosis of ASD and other disorders was developed. It is focused in both emotions recognition and empathy enhancement. This Application (App) denominated VALE-Emotions has been developed for the Android mobile platform and consists of three educational levels (see Fig. 1). This App is aimed at stimulating and facilitating the understanding and recognition of the six basic facial emotions: Joy, Sadness, Anger, Fear, Disgust, and Surprise [17].

The emotions, considered in the development of the App here reported, have been modeled following an experimented set of parameters which are based on both

TABLE 1. EXAMPLE OF FACS AND AUS FROM EKMAN'S STUDY.

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	

Fig. 1. Schematic organization the VALE-Emotions App levels.

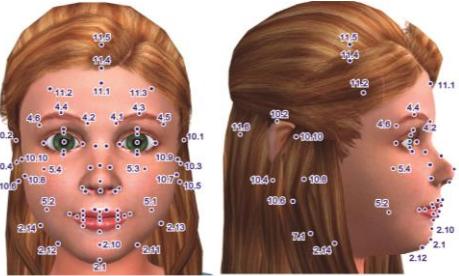


Fig. 2. Facial Feature Points (FPs) applied to the avatar.

settled codifications of Motion Picture Experts Group - v4 (MPEG-4) and the Facial Action Coding System (FACS). In a certain case of this study, each emotion presents a sequence of 100 pictures (intensity levels) of the emotional expression within the Dynamic Facial Expressions (DFE) level.

These learning and training processes can be used on mobile devices such as tablets or smartphones, allowing the portability and access to touch sense interaction experiences. In fact, with this last, another key force can be individuated, since it has been demonstrated that these technologies enhance manipulation, eye-hand coordination, perception and intuition [3], [8], [9].

In this work, the background of the VALE-Emotion expressions generation is outlined, including the two codification systems implemented. Then, an explanation of the software use is detailed. Subsequently, the validation of the app will be presented through the data experimentation. Finally, some user testing results will be discussed at the end of this article.

## II. EMOTIONAL EXPRESSION GENERATION

As mentioned earlier, two codification models for the body and face of human avatars have been reviewed. Such codifications have been intrinsic used for the modeling of emotional expression in the two avatars used the Mobile App.

### A. Framework of codification models

#### 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 lowlevel parameters drawn from the study of minimal facial actions (movement of facial parts). In fact, these parameters are closely related to facial muscle actions [22]. In [23], it is summarized the FAPs and their respective parameter range value used in the virtual animation of human faces through the MPEG-4 standard. Thus, these parameters control and describe the movement of facial parts in virtual human or human-like animation.

Moreover, the MPEG-4 includes the Facial Definition Parameters (FDPs), which in turn describes the Feature Points (FPs) related to the human face. In Fig. 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 FBA standard, the FAPs control the key FPs action, which are used to produce animated vises and facial expressions, as well as head and eye movement [24].

Due to the FAPs are applied to a broad range of facial animation characters with different sizes and proportions, the FAPs are also expressed regarding the Face Animation Parameter Units (FAPUs). These last are computed from the spatial distances between the major FPs on the model in its neutral state.

#### 2) Facial Action Coding System

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 [14], [17], [25], [26]. 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 been developed the human-observer-based system known as FACS. This coding system encodes muscles individually calling them Action Units (AUs). In Table 1, an illustration of the FACS and AUs applied to anger emotion is presented.

#### B. Proposal of a parametrization model

In this section, a parametrization 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. For the implementation of such a model, the animation software called iClone was used to animate the six basic emotions through a virtual girl avatar. In this way, in the Fig. 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 Fig. 3b. It is worth to note that each face section was renamed using the labels from "A" to "U" to reference our

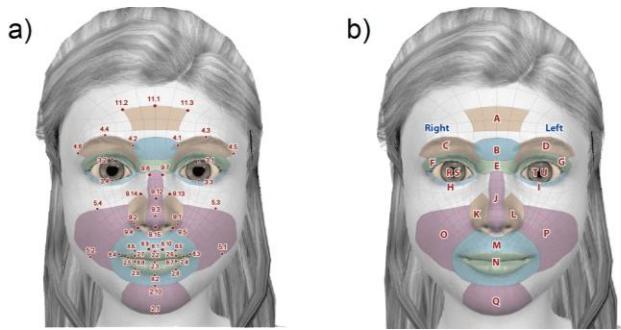


Fig. 3. Female avatar in iClone, showing the merge of the a) FAP of the MPEG-4 codification systems and b) AUs of the FACS.

TABLE 2. EXAMPLE OF PROPOSED PARAMETRIZATION 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 Parametrization Ranges using iClone [DOF <sub>min</sub> , DOF <sub>max</sub> ]
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]

parameterizing. An example of such relations for the anger emotion parametrization ranges are shown in Table 2.

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:

$$FP_{x,y} = DOF_{min} + \left[ \frac{DOF_{max} - DOF_{min}}{N} \right] * i, \quad (1)$$

with  $i = 1, 2, 3 \dots N$ , 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 50<sup>th</sup> image is -225). It is worth to mention that  $DOF_{min}$  and/or  $DOF_{max}$  can be numbers different than zero, positive or negative.

### III. VALE-EMOTIONS APP DESCRIPTION

The VALE-Emotions App has been created using the development environment Android Studio. In particular, five different layouts have been programmed for the VALE-Emotions App. Every layout has associated one activity that has also been programmed.

#### A. Main Interface

Once the user enters to the App through the launcher icon direct access, the main interface of the VALE-Emotions App is displayed on the screen (see Fig. 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 the filling of these data is important information for researching and diagnosis purposes, the activity of this interface controls that

all the data have been saved by the user before launching the training or tests activities.

#### B. Menu and Settings Interfaces

The main interface displays the "Menu" options in the top-right corner (see Fig. 4a). The principal activities of the App can be accessed through this menu. One of the activities is the "Settings" option. In this activity, the feedback audio language for the training and test activities can be set among Italian, Spanish, and English, as well as the audio activation/deactivation option. Also, it is possible to customize the visualization time of each emotion expression displayed during training/test activities. Finally, the configuration of the number of pictures generated by the DFE to be presented in the training/test activities can also be set.

#### C. Interfaces of the Training and Test activities

As mentioned in section I, three different learning levels are enclosed into the VALE-Emotions App. The first one activity is aimed for Icon Literacy of the patient due to a certain set of icons is further used in the interaction with the next two activities. The standard icons used are based on the denominated "Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación" (SAAC) by its meaning in Spanish. Thus, as it is shown in Fig. 4b, the "Training 0" activity trains the patient on the Icon Literacy supported by an audio feedback. Then, the "Test 0" activity quantitatively evaluates the icon-emotion recognition of the patient. It is worth to note that the six basics emotions are associated with concrete and unique icons.

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 pictures involved in these activities represent the highest intensity level of the six basic emotions generated through the DFE (see Fig. 4c).

Finally, the activity "Test 2" is oriented to assess the recognition level of the patient among the set of twenty pictures for each basic emotions obtained through the DFE parametrization model presented in the before section (see Fig. 4c). It is worth to mention that the images are randomly displayed to avoid any particular relation between the order presentation of the emotions and pictures sequence.

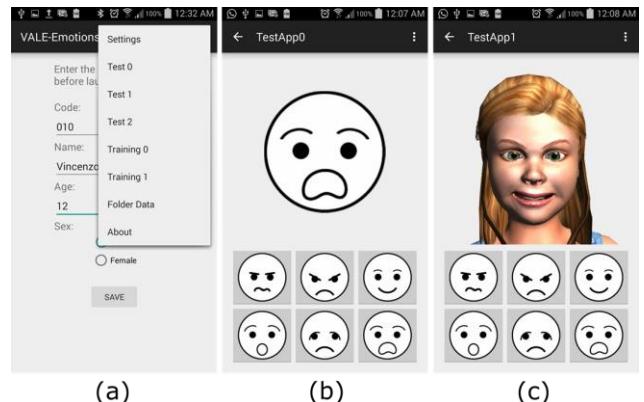


Fig. 4. VALE-Emotions App Interfaces: a) Main and Menu interface, b) Iconic Literacy interface and c) Emotion Recognition interface for DFE in Training/Test 1 and 2.

#### D. Data Format Storing

The data generated from the patient interaction with the training and test activities are saved in CSV files in the mobile device storage system, categorically ordered into a folder named "VALE-Emotions Data V010".

#### IV. VALE-EMOTIONS IN SPECIAL EDUCATION

The main objective of this study was to identify the level recognition of the six basic emotions. This recognition has been evaluated according to the authoring DFE parameterization. This work was applied in an assistance center in the south of Italia (Crotone Region). The collaboration work was aimed to support people with special needs such as High-Functioning Autism Spectrum Disorder (HFASD). Several work meetings with these groups were maintained through personal interaction with the participants (see Fig. 5).

Two hypotheses have been proposed for this experiment. The first one assumes high general success emotions recognition of the HFASD participants. The second one assumes that it is possible to determine the intensity level at which the recognition of emotions inside the DFE series occurs, assuming that effective recognition starts from 50%.

#### A. Subjects

The first group of participants in this study was 19 subjects (15 males (78.9%) and 4 females (21.1%)) aged between 5 and 18 years ( $M=10.58$ ,  $SD=3.68$ ). They received a clinical diagnosis of High Functioning Autism Spectrum Disorder (HFASD). A second group of participants were 20 Typically Development (TD) subjects as control group (11 males (55%) and 9 females (45%)) aged between 3 and 5 years ( $M=3.75$  ( $SD=0.72$ )).

It is worth noting that the children of the first group received the clinical diagnosis of HFASD from their assistance center. The requirements for the selection of patients in each diagnostic group were: 1) to have the consent of parents or guardians, 2) not suffer any significant sensory or motor impairment, and 3) a full-scale IQ greater than 70. Unfortunately, IQ data of the TD and HFASD groups were not available until the redaction of this work. However, to complete the analysis below presented, IQ values reported in the literature of works performed with similar characteristics groups were used [9]. All the mentioned data is summarized in Table 3.

#### B. Methodology

Participants have been assessed individually and in similar conditions. All the participants started the VALE-Emotions training/test on July 2015 and they worked with our research group during three months. All sessions were conducted by a researcher and took place in a familiar room for them. The room was equipped with adequate light conditions and without distractions. A professional by each center (educator or psychologist) was present during the experimentation to avoid stress on the participants for being in front of people unfamiliar to them. Participants were asked to sit in a chair in front of a table upon which it was placed the Tablet containing the App. In this experiment, the



Fig. 5. Interaction with a participant from the "Associazione Autismo KR" with HFASD diagnostic.

TABLE 3. MEAN AGE AND IQ OF THE PARTICIPANT GROUPS.

Variables	TD (Control)	HFASD
N	20	19
Age	3.75 (0.7)	10.58 (3.7)
IQ	115.2 (10.3)*	110.6 (15.3)*

\*Data extracted from [9].

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 from the participants was done through iconic buttons pressing. The experimentation activities were performed in the three levels. The first and second levels consisted of Training and Test phases while the third one only presents a Test phase. Each Training/Test stage lasted 15 minutes maximum. The full description of each stage is provided in the next paragraphs.

##### 1) Iconic Literacy Stage

The main scope was to identify whether the user known the basic emotions represented in its simplest form called "emoticons." During the Training-0, the user pushed each of the six emoticon buttons found on the bottom of the screen. An enlarged image corresponding to the selected button was displayed in the center of the screen. At the same time, an auditory stimulus saying the emotion's name was listened from the app. To complete this activity, the evaluator explained to the participant every shown expression in a detailed way. Thus, only in this Training part, the participant received a gesture or physical guidance.

##### 2) Recognition of Basic Emotions Stage

The purpose of this activity was to link the displayed emotion picture on the screen center with the corresponding iconic button. During the Training-1, the user pushed each of the six buttons found on the bottom of the screen. At this time, an avatar face expression corresponding to the selected button was displayed, while an auditory stimulus was saying the emotion's name was listened. Also in this phase, the evaluator explained to the participant every shown expression. Afterward, in the Test-1 phase, the app displayed the six avatar face emotions in a random way. The auditory stimulus was deactivated to permit an intuitive recognition of the emotions. The user was required to identify the emotion presented through the corresponding

TABLE 4. RESULTS OBTAINED IN THE TESTS-0 OF VALE-EMOTIONS APP

Emotion	TD		HFASD	
	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	26.1
SADNESS	94.44	17.15	86.2	21.65
SURPRISE	96.05	17.21	92.13	15.78

TABLE 5. SUCCESS RESULTS OBTAINED IN TEST-1 OF VALE-EMOTIONS

Emotion	TD		HFASD	
	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

button pushing. If the user correctly identified the emotion, a visual stimulus symbol of victory appeared, and another random emotion was visualized. Conversely, if the button selected was incorrect, a visual stimulus symbol "X" appeared and the same emotion picture was visualized again until it was correctly identified. The results and the interactions were stored automatically in the system too. It is worth mentioning that only the maximum emotional intensity of the DFE was presented for each emotion.

### 3) Dynamic Facial Expressions Recognition Stage

It is intended to determine from which level of intensity emotions generated by the DFE were correctly recognized. 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 images per emotion (max. 120 intensity emotion images) were randomly displayed in the center of the Tablet. The participant was required to recognize each emotion picture having only one chance to do it. Visual and audio stimulation were deactivated to assess the intuitive emotional recognition of the patients. This level of the test was applied only to patients who achieved more than 50% of correct answers in Test-1. It is worth mentioning that in this phase, VALE-emotion tool controls that emotions images were not repeatedly presented. The tool also permitted to the evaluator to determine how many images will be randomly presented by each basic emotion.

## V. RESULTS AND DISCUSSION

The current study provides data on the identifying the level of intensities in the base emotions (Anger, Disgust, Fear, Joy, Sadness, Surprise), through the Android App called VALE-Emotions developed by our researcher group. The analyzed groups brought to light interesting results.

A descriptive analysis of data from the three stages (Iconic Literacy, Recognition of basic emotions and DFE recognition) presented inside of VALE-Emotion app have

been conducted. The main dependent variable of the VALE-Emotion has been the percent of emotional success recognition scores. This variable was individuated from the rights and wrongs answers obtained during each Test. Thus, the value "1" corresponds to the right answers and the value "0" corresponds to the wrong ones. Therefore, for every participant, all values 1 obtained were quantized. Thus, the percentage of emotion success recognition of the six basic emotions analyzed for TD and HFASD groups will be shown in detail in the following sections through summarized tables, graphs, and figures. Moreover, comparison of the average percentage of success recognition of emotions between the participant groups is performed. Furthermore, based on the experimental data, a generalized calculation of the intensity level of emotional expressions generated by DFE is presented together with a comparison of the results between the participant groups.

### 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 the Table 4. A high recognition of emotions, represented by "emoticons," in HFASD group had been observed. This percentage recognition was higher than 80% for all emotions. This means that the iconic literacy campaign was not extensive for the participants of this group.

### 2) Recognition of Basic Emotions Results

Regarding this stage, the average percentage of success recognition of the six basic emotions, represented by final intensity level of DFE obtained in the Tests-1 for each group, are summarized in the Table 5.

For the HFASD group, the greater recognition was for the Joy ( $M=92.11$ ,  $SD=19.54$ ) emotion was observed, near followed by Anger ( $M=87.81$ ,  $SD=28.12$ ) and Surprise ( $M=85.09$ ,  $SD=26.45$ ). These results show a strong congruence with the works presented in [9], [27]. This suggests that HFASD subjects often seem relatively similar to their peers regarding the recognition of emotions [13]. This last statement is against the belief that children with HFASD often show impaired in emotion recognition [7], [9], [28].

Due to the inconsistencies presented by several researchers regarding the recognition of emotions in subjects with Autism, in the work entitled "Review of Behavioural and Neuroimaging Studies" [13], 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 [29], [30]. 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 individuals Typically Developing (TD) [31]. In this way, the largest children with HFASD 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.

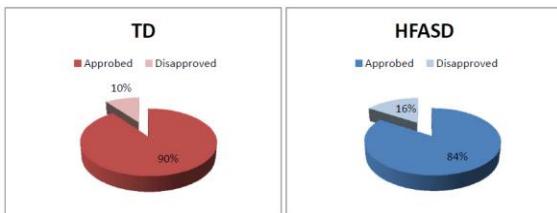


Fig. 6. Screening for the approved participants able to continue with Test-2.

TABLE 6. SUMMARY OF PERCENTAGE SUCCESS RECOGNITION IN DFE

Face Number	Anger		Disgust		Fear		Joy		Sadness		Surprise	
	TD	HFASD	TD	HFASD	TD	HFASD	TD	HFASD	TD	HFASD	TD	HFASD
005	50.0	25.0	0.0	66.7	0.0	0.0	71.4	33.3	20.0	20.0	0.0	0.0
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
015	71.4	75.0	12.5	20.0	16.7	0.0	83.3	62.5	85.7	100.0	28.6	0.0
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
025	75.0	0.0	50.0	100.0	20.0	25.0	85.7	40.0	50.0	100.0	0.0	60.0
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
035	66.7	85.7	60.0	71.4	14.3	33.3	62.5	50.0	63.6	85.7	50.0	28.6
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
045	100.0	66.7	71.4	80.0	11.1	25.0	90.9	100.0	87.5	80.0	42.9	70.0
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
055	75.0	83.3	57.1	66.7	50.0	16.7	77.8	75.0	75.0	100.0	75.0	44.4
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
065	60.0	77.8	50.0	75.0	60.0	50.0	100.0	66.7	88.9	87.5	80.0	57.1
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
075	66.7	75.0	72.7	50.0	44.4	75.0	100.0	75.0	87.5	100.0	88.9	60.0
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
085	100.0	60.0	87.5	60.0	71.4	75.0	75.0	60.0	85.7	80.0	87.5	50.0
090	75.0	71.4	66.7	66.7	62.5	50.0	87.5	100.0	83.3	100.0	71.4	66.7
095	100.0	100.0	80.0	50.0	40.0	60.0	60.0	100.0	85.7	66.7	90.0	100.0
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

### a) Screening of Rated Participants

In this section, screening to evaluate the participants from each group that was able to perform the Test-2 was done. The experimentation of the Test-2 will be explaining in the next section. Regarding this evaluation, it was established previously in the methodology. The criteria for selection refers that only those participants 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 by the total number of projections, and multiplied by 100.

The results of this screening process for each participant are presented in the Fig. 6. As final screening result, the 90% of TD participants group and the 84.2% of HFASD participants group were able to continue with the Test-2.

### 3) Dynamic Facial Expressions Recognition Results

The results obtained in the Test-2 are the strong 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 individual participant group have been done. Summary of these results are presented in Table 6.

#### a) 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

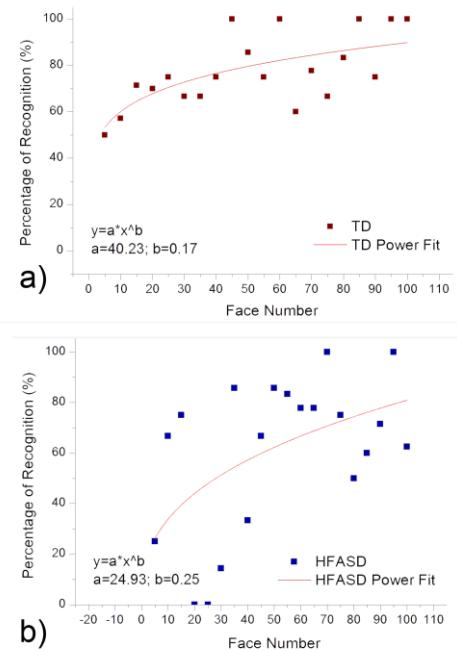


Fig. 7. Individual recognition of intensity levels for Anger emotion in Test2 with power fitting for a) TD and b) HFASD groups.

experimental data as shown in Fig. 7 for Anger emotion. Such fitting expression is defined by:

$$y = a \cdot x^b, \quad (2)$$

were:

y: is the dependent variable (% of emotion recognition),  
x: is the independent variable that can be experimentally adjusted (Intensity level of emotional expression),  
a and b: are the parameters that would best fit the function to the experimental data.

It is worth mentioning 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 also depending on the fitting parameters a and b. In our case, 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 the fitting parameter a.

Furthermore, through a change of variable in equation 2, it is possible to determine the intensity level inside the DFE sequence per 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:

$$x = \left(\frac{y}{a}\right)^{1/b}. \quad (3)$$

TABLE 8. PARAMETERS OF THE POWER FITTING ON THE PERCENTAGE OF SUCCESS RECOGNITION RESULTS FROM THE DFE EVALUATION PERFORMED ON THE TD GROUP

Emotions	a	b	x for y=50%
ANGER	40.23 (8.10)	0.17 (0.05)	3
DISGUST	5.09 (2.87)	0.6 (0.13)	40
FEAR	1.14 (0.99)	0.9 (0.20)	70
JOY	62.78 (12.80)	0.1 (0.05)	1
SADNESS	31.43 (7.53)	0.2 (0.06)	7
SURPRISE	3.75 (2.56)	0.7 (0.16)	41

TABLE 9. PARAMETERS OF THE POWER FITTING ON THE PERCENTAGE OF SUCCESS RECOGNITION RESULTS FROM THE DFE EVALUATION PERFORMED ON THE HFASD GROUP.

Emotions	a	b	x for y=50%
ANGER	24.93 (12.21)	0.25 (0.12)	16
DISGUST	29.44 (14.65)	0.19 (0.13)	17
FEAR	1.17 (1.09)	0.89 (0.22)	70
JOY	41.06 (14.42)	0.15 (0.09)	4
SADNESS	38.60 (0.21)	12.07 (0.08)	1
SURPRISE	5.37 (3.49)	0.61 (0.15)	40

Therefore, the evaluation results of the equation 3 were also presented in Tables Table 7 and Table 8 for the TD and HFASD 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.

Particularly, analyzing each group respect to the individual intensities level recognition, was obtained that in the TD group, the Joy is recognized from the firs intensity level (i.e. face 1). It was followed by the Anger emotion which was identified from the level 7 (i.e. face 3). Similarly, the Sadness emotion had an acceptable recognition from the intensity level 7 (i.e. face 7). On the other hand, acceptable emotion recognition by the 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, in the HFASD group the Sadness emotion was recognized by the participants 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 face number 70. It is wirthy noting that in this last emotion, the result was equal to the TD group.

#### 4) Determination of Response Time

In order to determine an accurate recognition, of the emotions in the Test-1 between the individual participants inside of each group, also it has been considered the single time employed to perform the recognition of each expression. For this purpose, has been taked the response time, which is the difference between the time registered

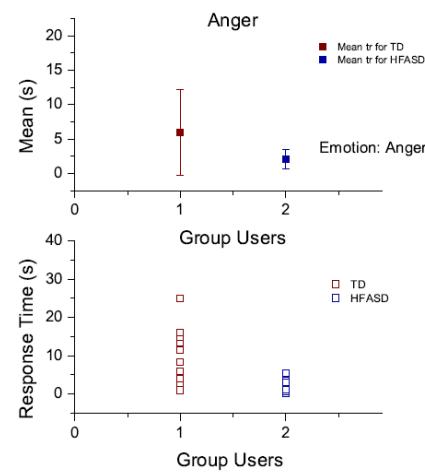


Fig. 8. Single responses time of the hits recognition per participant groups for Anger emotion in Test-1.

TABLE 7. SUMMARY OF MEAN RESPONSE TIME OF THE HITS RECOGNITION PER PARTICIPANT GROUPS AND PER EMOTION IN TEST-1.

Group	ANGER		DISGUST		FEAR	
	M [s]	SD	M [s]	SD	M [s]	SD
TD	5.972	6.175	6.097	5.130	8.661	7.248
HFASD	2.058	1.434	3.150	2.609	3.402	3.077

Group	JOY		SADNESS		SURPRISE	
	M [s]	SD	M [s]	SD	M [s]	SD
TD	5.094	7.124	5.924	5.789	4.958	4.291
HFASD	2.220	1.219	2.254	2.183	2.028	1.488

when the participant pressed the button and the time registered when the emotion was displayed on the screen. The single responses time for Anger emotion from both participant groups are plotted in Fig. 8. Thus, the scattering of the response times per participant group for each emotion, together with their corresponding mean values and SD, of the experimental data for this stage are represented. Summarized information of the Mean Response Time of the hits recognition per participant groups and per emotion in Test-1 are presented in Table 9.

It is worth highlighting that based on the data from Table 9, the participants of the HFASD 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.

## VI. 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 relapses 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 HFASD 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 HFASD participants during the Test-1. In fact, from a general point of view, the average success of emotions recognition for the HFASD group was as higher as TD one. On the other hand, the second hypothesis was confirmed through the determination of the intensities level 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 HFASD 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 thank the suporting of SENESCYT-Ecuador. We render thanks to all children for their collaboration in this study. We also acknowledge the “Associazione Autismo KR” of Crotone (Italy) for their support.

#### REFERENCES

- [1] E. Bilotta, L. Gabriele, R. Servidio, and A. Tavernise, “Espressioni facciali in agenti virtuali: Il software Face3D e il riconoscimento di emozioni,” in *Giornale di Psicologia*, vol. 4, no. 2, F. Perussia and G. Pravettoni, Eds. Milano: PSICOTECNICA edizioni, 2010, pp. 139–148.
- [2] J. Chen, D. Chen, L. Wang, and O. Lemon, “An advanced learning environment aided by recognition of multi-modal social signals,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 6483 LNCS, pp. 41–51, 2010.
- [3] K. Porayska-Pomsta, C. Fraunberger, H. Pain, G. Rajendran, T. Smith, R. Menzies, M. E. Foster, a. Alcorn, S. Wass, S. Bernadini, K. Avramides, W. Keay-Bright, J. Chen, a. Waller, K. Guldberg, J. Good, and O. Lemon, “Developing technology for autism: An interdisciplinary approach,” *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 16, no. 2, pp. 117–127, 2012.
- [4] S. Parsons, P. Mitchell, and A. Leonard, “The use and understanding of virtual environments by adolescents with autistic spectrum disorders,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 34, no. 4, pp. 449–466, 2004.
- [5] M. Saiano, L. Pellegrino, M. Casadio, S. Summa, E. Garbarino, V. Rossi, D. Dall’Agata, and V. Sanguineti, “Natural interfaces and virtual environments for the acquisition of street crossing and path following skills in adults with Autism Spectrum Disorders: a feasibility study,” *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–13, 2015.
- [6] J. P. Stichter, J. Laffey, K. Galyen, and M. Herzog, “iSocial: Delivering the Social Competence Intervention for Adolescents (SCI-A) in a 3D Virtual Learning Environment for Youth with High Functioning Autism,” *J. Autism Dev. Disord.*, no. 44, pp. 417–430, 2013.
- [7] M. Uljarevic and A. Hamilton, “Recognition of emotions in autism: A formal meta-analysis,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 43, no. 7, pp. 1517–1526, 2013.
- [8] F. Bertacchini, E. Bilotta, L. Gabriele, D. E. Olmedo Vizueta, P. Pantano, F. Rosa, A. Tavernise, S. Vena, and A. Valenti, “An emotional learning environment for subjects with Autism Spectrum Disorder,” *2013 Int. Conf. Interact. Collab. Learn.*, no. September, pp. 653–659, 2013.
- [9] K. Kim, M. Z. Rosenthal, M. Gwaltney, W. Jarrold, N. Hatt, N. McIntyre, L. Swain, M. Solomon, and P. Mundy, “A Virtual Joy-Stick Study of Emotional Responses and Social Motivation in Children with Autism Spectrum Disorder,” *Sci. + Bus. Media*, 2014.
- [10] L. a Thomas, M. a Brotman, E. J. Muhrer, B. H. Rosen, B. L. Bones, R. C. Reynolds, C. M. Deveney, D. S. Pine, and E. Leibenluft, “Parametric modulation of neural activity by emotion in youth with bipolar disorder, youth with severe mood dysregulation, and healthy volunteers,” *Arch. Gen. Psychiatry*, vol. 69, no. 12, pp. 1257–66, 2012.
- [11] Y. Zhang and W. Wei, “A realistic dynamic facial expression transfer method,” *Neurocomputing*, vol. 89, pp. 21–29, 2012.
- [12] M. N. Dailey, G. W. Cottrell, C. Padgett, and R. Adolphs, “EMPATH: a neural network that categorizes facial expressions,” *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 14, no. 8, pp. 1158–1173, 2002.
- [13] M. B. Harms, A. Martin, and G. L. Wallace, “Facial Emotion Recognition in Autism Spectrum Disorders: A Review of Behavioral and Neuroimaging Studies,” no. 20, pp. 290–322, 2010.
- [14] P. Ekman, “Facial Expressions,” in *Handbook of Cognition and Emotion*, New York: John Wiley & Sons Ltd., 1999.
- [15] P. Ekman and R. Davidson, “All Emotions Are Basic,” in *THE NATURE OF EMOTION*, Oxford University, 1994, pp. 15–19.
- [16] P. Ekman, “Expression and the Nature of Emotion,” in *APPROACHES TO EMOTION*, K. Scherer and P. Ekman, Eds. NJ: Lawrence Erlbaum: Hillsdale, 1984, pp. 321–343.
- [17] P. Ekman, *An argument for basic emotions*, vol. 6, no. 3. U.S.A.: Lawrence Erlbaum Associates Limited, 1992.
- [18] P. Ekman and W. V Friesen, *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1976.
- [19] P. Ekman, “Methods for measuring facial action,” in *Handook of Methods in Nonverbal Behavior Research*, C. University, Ed. New York, 1982, pp. 45–135.
- [20] M. Stewart Bartlett, J. C. Hager, P. Ekman, and T. J. Sejnowski, “Measuring facial expressions by computer image analysis,” *Soc. Psychophysiological Res.*, vol. 36, pp. 253–263, 1999.
- [21] J. F. Cohn, Z. Ambadar, and P. Ekman, “Observer-based measurement of facial expression with the Facial Action Coding System,” in *The handbook of emotion elicitation and assessment*, 2007, pp. 203–221.
- [22] T. Di Giacomo, C. Joslin, S. Garchery, and N. Magnenat-Thalmann, “Adaptation of facial and body animation for MPEG-based architectures,” in *Proceedings. 2003 International Conference on Cyberworlds*, 2003.
- [23] V. Technologies, “MPEG-4 Face and Body Animation ( MPEG-4 FBA ) An overview,” *The Character nimation Company*. [Online]. Available: [www.visagetechnologies.com](http://www.visagetechnologies.com).
- [24] M. Moussa and Z. Kasap, “MPEG-4 FAP animation applied to humanoid robot head,” *Proceeding Summer ...*, pp. 1–11, 2010.
- [25] P. Ekman, “Sixteen Enjoyable Emotions,” *Emotion Researcher*, vol. 18, pp. 6–7, 2003.
- [26] P. Ekman, “Basic emotions,” in *Handbook of Cognition and Emotion*, vol. 98, no. 1992, 1999, pp. 45–60.
- [27] S. Serret, S. Hun, G. Iakimova, J. Lozada, M. Anastassova, A. Santos, S. Vesperini, and F. Askenazy, “Facing the challenge of teaching emotions to individuals with low- and high-functioning autism using a new Serious game : a pilot study,” pp. 1–17, 2014.
- [28] L. Kanner, *Autistic disturbances of affective contact*, vol. 2. 1943.
- [29] J. Grossman, A. Klin, A. Carter, and F. Volkmar, “Verbal bias in recognition of facial emotions in children with Asperger syndrome,” *J Child Psychol Psychiatry*, vol. 41, no. 3, pp. 369–379, 2000.
- [30] S. Vesperini, F. Askenazy, N. Renaudo, P. Staccini, S. Hun, E. Legall, and S. Serret, “Prosocial intervention in children and adolescents with autism spectrum disorder without intellectual disability: benefits of videotaping therapy sessions,” *Encephale*, vol. 41, no. 1, pp. 47–55, 2015.
- [31] E. Fink, M. de Rosnay, M. Wierda, H. M. Koot, and S. Begeer, “Brief Report: Accuracy and Response Time for the Recognition of Facial Emotions in a Large Sample of Children with Autism Spectrum Disorders,” *J. Autism Dev. Disord.*, pp. 2363–2368, 2014.

# Applying Canny Edge Detection with Cross - Spectral Fused Images using Morphological Filters

Msig. Patricia Suarez Riofrío<sup>a</sup> Candidata a Phd, plsuaruz@espol.edu.ec

Phd. Monica Villavicencio<sup>a</sup> mvillavi@espol.edu.ec

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador .

**Abstract—** In this paper, the use of crossspectral images in the process of edge detection is evaluated, the main reason to use images of different spectra is that they provide extensive information that helps greatly in the process of identification and distinction of spectrally materials unique. The objective of this study is to assessment Canny edge detector with two variants. The first relates to the use of cross-spectral images merged, and the second using morphological filters. To ensure the quality of the data used in this study methodology GQM (Goal-Question-Metrics) was applied as a framework to reduce noise and increase entropy. After the experiments, it is concluded that the edges detected significantly after the inclusion of a near infrared spectrum channel in the merged image, and variation of morphological filter.

**Keywords**—structural elements; morphological filter; goal; metric; question; spectrum; near infrared; fusion; cross-respcetral; sample

## I. INTRODUCCION

### A. Antecedentes.

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 aplicadas a áreas tales como la teledetección o la medicina, para preservar importantes propiedades estructurales, la segmentación de imágenes, reconocimiento de patrones, etc.

Otro interesante principio de la detección de bordes en [17] se lleva a cabo por aproximación de máscaras circulares y asociando cada punto de imagen con un área local de brillo similar. El principal inconveniente 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. [23].

En la práctica, los efectos de percepción humana juegan un papel importante en la determinación de si existe o no un borde. La detección de bordes es una cuestión clave en el procesamiento de imágenes, la visión por computador y el reconocimiento de patrones. Otro de los elementos que se debe considerar es que el estudio propone un método, donde se hace uso de imágenes crossespectrales que utilizan 2 bandas, el espectro visible e infrarrojo cercano.

Las imágenes de diferentes espectros proporcionan el potencial para una extracción de información más precisa y detallada [22]. Por lo general, las aplicaciones de teleobservación Cross-espectral o Multiespectral, se aplican en proyectos que tienen alguno de los siguientes objetivos [13] [9] [15]: Detección de objetivos (objetos, tumores, personas, etc), mapeo de materiales, seguimiento, clasificación, segmentación, mapeo de las propiedades de las superficies para la identificación de materiales, etc). Teniendo en cuenta que Crossespectral se refiere a imágenes de sólo dos bandas, mientras que Multiespectral cuando se trata de imágenes de más de 100 bandas.

Considerando la importancia de analizar este tipo de imágenes Crossespectrales, 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 las métricas más precisas que nos permitan medir la calidad de los datos y resultados, por ello se plantea el uso de la técnica GQM.

Este artículo contribuye a:

1. Mejorar la detección de bordes en imágenes crossespectrales haciendo uso de una variación de los filtros morfológicos propuestos en [8].
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 con el marco teórico, donde se describe el modelo

GQM y el enfoque matemático del problema. La sección III con la metodología, donde se define el método de investigación, la selección y la preparación de los datos, el diseño del experimento, los experimentos, luego la sección IV con el análisis de los resultados, y finalmente la sección V con las conclusiones del estudio.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Enfoque GQM.

GQM es un mecanismo que provee un marco para definir un programa de métricas [3], fue diseñado en la universidad de Maryland como un mecanismo para formalizar las tareas de caracterización, planeación, análisis, aprendizaje y retroalimentación. GQM no provee objetivos específicos, sino más bien una 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. [1,2].

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 y la investigación académica. El método GQM contiene cuatro fases: Planificación, Definición, Recolección e Interpretación. [4].

### B. Enfoque Matemático del Problema.

Los sensores Cross-espectrales permiten captar cientos de imágenes, correspondientes a diferentes canales espectrales, 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. [17,18]. Hay que considerar también que existen técnicas de detección que trabajan con la discontinuidad de la superficie o con límites de reflectancia o iluminación con una o varias escalas. [19].

Este trabajo explora el uso del espectro visible y el infrarrojo cercano (NIR) para la función de detección de los bordes en las imágenes [3] [2]. En particular, investigamos generalizaciones crossspectrales 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 poder relacionarlas, esto nos permita usarlas para extraer información de las mismas [9] y poder tomar acción sobre ellas. Cuando hablamos de puntos coincidentes nos referimos de manera general a las características de la escena que necesitamos reconocer de manera única, 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, que tiene la deficiencia de la adaptabilidad al tipo de ruido, por ende, se pudieran detectar bordes falsos positivos.

Basados en el operador convencional del algoritmo de Canny y en muchas de las innovaciones sugeridas en otros artículos [7] [8] [9] [10] [11], tal como se presentará en las siguientes secciones, nuestro artículo propone la modificación del filtro morfológico presentando en [8], 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 las puede detallar a continuación:

- Filtrado
- Cálculo magnitud y dirección de gradiente
- Supresión de 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  $\sigma$  ) a aplicar a la imagen, es decir, que se puede considerar 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, y si se deja de manera constante un mismo valor de varianza, se podría tener pérdida de detalles por valores muy altos, o en su defecto poca reducción de ruido al utilizar valores muy bajos. [13] [14].

La morfología matemática es una técnica de procesamiento no lineal de la señal caracterizada para realzar la geometría y forma de los objetos. El objetivo de las operaciones morfológicas es la extracción de figuras geométricas de los conjuntos sobre los que opera mediante el uso de otro conjunto denominado, elemento estructurante, el tamaño y forma de este elemento se lo elige en función a 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. [8] [15].

De acuerdo a lo presentado en [8], 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 :

$$1) \text{ Dilatación: } F \oplus B = \max\{(F(x-s,y-t)+B(s,t)\} \quad (6)$$

$$2) \text{ Erosión: } F \ominus B = \min\{(F(x-s,y-t)-B(s,t)\} \quad (7)$$

$$3) \text{ Apertura: } F \circ B = (F \ominus B) \oplus B \quad (8)$$

$$4) \text{ Cierre: } F \bullet B = (F \oplus B) \ominus B \quad (9)$$

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:

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

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

$$F_{\text{sinruido}} = F \circ A \bullet B \quad (10)$$

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 anterior se propone una variante en el tamaño y la geometría de los elementos estructurantes, esto 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 crossspectrales fusionadas, los mismos que se visualizan a continuación:

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

Así también, se propone la nueva operación de filtrado de apertura-cierre-dilatación de la imagen  $F(x,y)$ , la cual está dada por:

$$F_{\text{sinruido}} = F \circ A \bullet B \oplus B \quad (11)$$

La propuesta permite optimizar el uso de los detalles de la imagen, al reducir el kernel B a un tamaño de 3 x 3, generando un menor suavizado, adicional a esto, se cambia el modelo morfológico, ya que se incluye una operación adicional de dilatación que reduce los cambios de las altas frecuencias de la imagen, preservando la información de los cambios de intensidades de forma más homogénea reduciendo por ende, los bordes falsos positivos.

### III. METODOLOGIA

#### A. Definición del Método Investigación

El presente trabajo utiliza el método de experimentos de laboratorio, bajo el esquema de medición mediante métricas previamente definidas para el diseño experimental, esto de acuerdo a lo propuesto por Runkel y McGrath (1972). [16].

Se utiliza métodos cuantitativos con el objetivo de probar o descartar la hipótesis que se plantea con respecto a la mejora en la calidad de la detección de bordes propuesta por Canny, utilizando filtros morfológicos, con imágenes Cross-spectrales, que al tener una mejor 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, 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.

#### B. Seleccionando los datos

Los datos fueron obtenidos de la base de datos de los laboratorios 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 “Outdoor”.

Escogimos 350 pares de imágenes de dicha categoría para evaluar la detección de los contornos realizado por el algoritmo de Canny. Se ha seleccionado las imágenes de categoría “Outdoor” 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 y por ende se constituyen en los escenarios más propicios para la evaluación de la variante propuesta a nivel de los filtros morfológicos.

#### C. Preparando los datos usando GQM: Fusión de Imágenes Cross-espectrales

Para realizar los experimentos de detección de bordes con imágenes crossspectrales fusionadas es necesario preprocesar las imágenes para reducir el ruido, 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 pueda generar 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 diferentes espectros

La siguiente etapa es definir las preguntas que van a recolectar la información cuantitativa, y luego se determinan las métricas que van a recolectar la información que sirve 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 fig. 1 y 2.

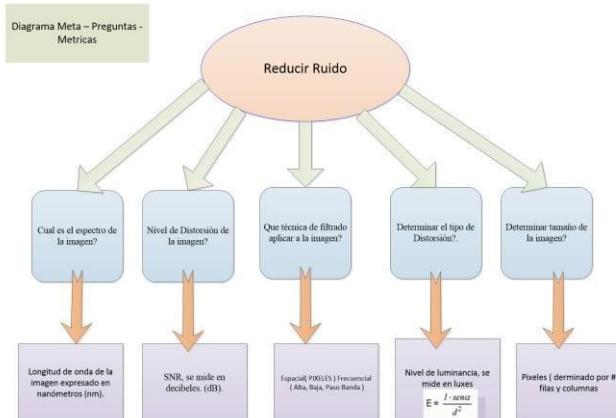


Fig. 1 Modelo GQM para la Reducción del Ruido

Otras de las Metas y sus respectivas métricas se muestran a continuación:

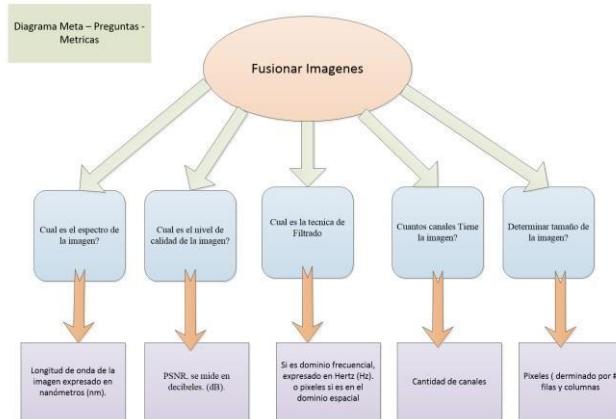


Fig. 2 Modelo GQM para fusión Imágenes por Canales

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 infrarrojo cercano. Aplicando el modelo GQM mostrado en la Fig.2, para la fusión de imágenes se obtienen las métricas que determinaron que la mejor entropía se obtiene de 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 poder comprobar que existe una mejora de los resultados de la detección.

Se observa un ejemplo de los resultados de las imágenes obtenidas con la fusión propuesta, las que tienen la mejor entropía, categoría "Outdoor". Ver fig. 3.



Fig.3 Imagen Fusionada, fusión canales(N-Nir,V-verde,B-azul), tomada de la base de datos U.P.F. Lausanna

#### D. Experimentos Detección Bordes

Se ha realizado la ejecución del algoritmo de Canny en su versión original con las 350 imágenes seleccionadas de la categoría "Outdoor", pre-procesadas y fusionadas, así como, con el mismo conjunto de imágenes, se ha ejecutado el algoritmo con la variación propuesta en este trabajo, que es la utilización de los filtros morfológicos con un diseño diferente de los elementos estructurantes y la inclusión de los gradientes oblicuos sugeridos en [8], en sustitución al filtrado gaussiano que tiene poca adaptabilidad al ruido, los resultados obtenidos de ambos algoritmos han sido medidos y comparados de acuerdo a las métricas que se detallan a continuación, tomadas de [8]:

1.- 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:

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} P_i \cdot \log_2(P_i) \quad (10)$$

Donde,  $P_i$ , expresa la probabilidad de que los valores de los pixeles en una imagen en escala de grises sean iguales a  $i$  que es la imagen original. Por ende, a mayor valor de entropía, mayor precisión de información de los contornos de la imagen original se ha obtenido. [20] [12].

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

$$PSNR = 10 \times \lg \left( \frac{255^2}{MSE} \right) \quad (11)$$

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (14)$$

Donde, MSE es la media del error cuadrático de las dos imágenes I y K, usualmente a mayor valor de PSNR, mayor calidad de la imagen. [8] [14] [9] [15].

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

$$\text{corr}(A, B) = \frac{\sum_{i,j} [(A(i, j) - \bar{A}) \times (B(i, j) - \bar{B})]}{\sqrt{\sum_{i,j} [(A(i, j) - \bar{A})^2] \times \sum_{i,j} [(B(i, j) - \bar{B})^2]}} \quad (12)$$

$$\bar{A} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} A(i, j) \quad (13)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} B(i, j) \quad (14)$$

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

$\bar{A}$  y  $\bar{B}$  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.

#### IV. ANALISIS DE RESULTADOS

Se ha realizado un análisis cuantitativo de las métricas obtenidas 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 con la versión original. Se puede visualizar lo resultados obtenidos con las imágenes en la categoría "Outdoor" en tres escenarios diferentes: edificios, puertas y fachadas. Ver fig. 4. Comparaciones con la técnica presentada en [8] no son adjuntadas dado que no se pudo encontrar 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 "Outdoor": 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 se muestran a continuación:

TABLA 1. RESULTADOS METRICAS "Outdoor Puertas"

Métricas de Evaluación	Contorno Canny Original	Contorno Canny Mejorado
Entropía	0.973	0.997
PSNR	8.234	13.175
G.Correlación	0.897	0.962

TABLA 2. RESULTADOS METRICAS "Outdoor Edificios"

Métricas de Evaluación	Contorno Canny Original	Contorno Canny Mejorado
Entropía	0.943	0.987
PSNR	8.685	11.527
G.Correlación	0.869	0.957

TABLA 3 RESULTADOS METRICAS "Outdoor Fachadas"

Métricas de Evaluación	Contorno Canny Original	Contorno Canny Mejorado
Entropía	0.941	0.984
PSNR	9.857	12.653
Correlación	0.834	0.914



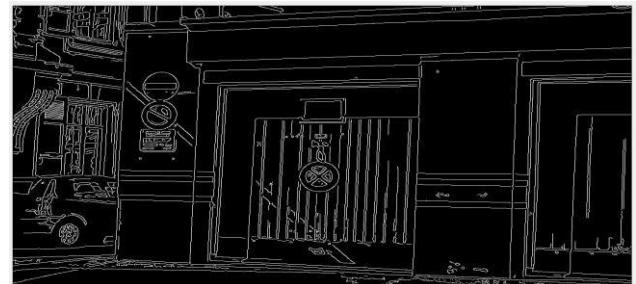
(a) Outdoor Edificios Canny Original



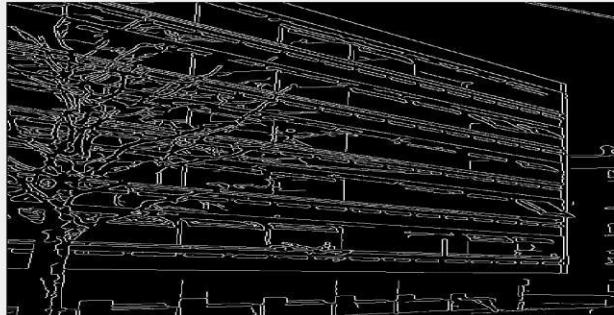
(b) Outdoor Edificios Canny Propuesto



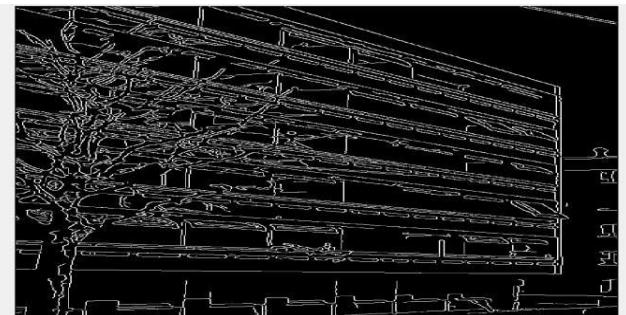
(c) Outdoor Puertas Canny Original



(d) Outdoor Puertas Canny Propuesto



(e) Outdoor Fachadas Canny Original



(f) Outdoor Fachadas Canny Propuesto

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

## V. CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos en los experimentos realizados, ver Fig. 4. Y al visualizar las métricas obtenidas ver Tabla 1,2 y 3. Se puede comprobar que la inclusión de la variante del filtro morfológico propuesto en [8], reduciendo el tamaño del elemento estructurante, modificando la geometría del elemento e incluyendo una operación morfológica adicional de dilatación, se mejora la filtración del nivel de ruido, sin pérdida de los detalles de la imagen, con esta variante, se logra adaptar de manera más precisa la detección de contornos en imágenes Cross-espectrales, por lo tanto se extraen 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.

## VI. TRABAJOS FUTUROS

Se puede analizar las mejoras de otros algoritmos de detección de contornos como Sobel, Prewitt, Robert, ZeroCross o Log y 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 pueden definir nuevas métricas que sirvan para generalizar las mediciones de la precisión de las variantes propuestas, en varias técnicas de detección de contornos. O analizar la variante propuesta en otros espectros como infrarrojo lejano, etc.

## VII. RECONOCIMIENTO

Se desea agradecer la colaboración en este trabajo de investigación al Dr. Angel Sappa, director del proyecto de tesis doctoral de la candidata a Phd, Msig. Patricia Suárez R.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Basili, V., et al. "Goal question metric (gqm) approach." J. Marcinia: Encyclopedia of Software Engineering 1 (2002): 578-583.
- [2] Al-Nanih, Reem, Al-Nuaim H., and Ormandjieva O., "New health information systems (HIS) quality-in-use model based on the GQM approach and HCI principles." International Conference on Human-Computer Interaction. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [3] Calero, Coral, Piattini M, and Genero M., "Method for Obtaining Correct Metrics." ICEIS (2). 2001.
- [4] Esteves, J., Pastor-Collado J., and Casanovas J., "Measuring sustained management support in ERP implementation projects: a GQM approach." AMCIS 2002 Proceedings (2002): 190.
- [5] Xu, Q. ,Varadarajan, S, Chakrabarti, C., "A Distributed Canny Edge Detector: Algorithm and FPGA Implementation," IEEE Transactions on Image Processing, vol.23, no.7, pp.2944-2960, July 2014.
- [6] Xu P, Miao Q, Shi C,etc, "General method for edge detection based on the shear transform," IET Image Processing, vol.6, no.7, pp.839-853, October 2012.
- [7] Dhiraj Kumar P., Prof. Sagar A., "Edge Detection Technique by Fuzzy Logic and Cellular Learning Automata using Fuzzy Image Processing"; 2013 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI -2013), Jan. 04 – 06, 2013, Coimbatore, INDIA.

- [8] Deng, Cai-Xia, Gui-Bin Wang, Xin-Rui Yang. "Image Edge Detection Algorithm Based on Improved Canny Operator". Proceedings of the 2013 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Tianjin, 14-17 July, 2013.
- [9] Canny J., "A Computational Approach to Edge Detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8, pp. 679-698, 1986.
- [10] X. Kai-jian, Y. Yu-feng, Chang Jin-y, ZHONG Shag; "An Edge Detection Improved Algorithm Based on Morphology and Wavelet Transform." Computer and Automation Engineering (ICCAE), 2010 The 2nd International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2010.
- [11] D. Demigny, "On Optimal Linear Filtering for Edge Detection," IEEE Trans. Image Processing, vol. 11, pp. 728-1220, July 2002.
- [12] Y. Xu et al., "Wavelet Transform Domain Filters: A Spatially Selective Noise Filtration Technique," IEEE Trans. Image Processing, vol. 3, pp. 747-758, Nov. 1994.
- [13] W. Wang, and L. Wang, "Edge Detection of the Canny Algorithm Based on Maximum between-class Posterior Probability", Computer Applications, Vol.29, NoA, pp.962-1027, Apr. 2009.
- [14] L. Xue, Tao Li, Z. Wang, "Adaptive Canny Edge Detection Algorithm", Computer Application, Vol. 27, No.9, pp.3588-3590. sep. 2010.
- [15] R.J. O'Callaghan, D.R. Bull, "Combined morphological-spectral unsupervised image segmentation", IEEE Trans. Image Process. (2005) 49–62.
- [16] Elder, J., & Zucker, S. (1998). Local scale control for edge detection and blur estimation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20(7), 699–716.
- [17] Chunxi Ma, et.al. ; "An improved Sobel algorithm based filter", Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2<sup>nd</sup> International IEEE conference, China, volume:1, pp.88-93,August 1, 2010.
- [18] Marr D. and Hildreth E., "Theory of Edge Detection," Proc. Royal Soc.London, vol. 207, pp. 187-217, 1980.
- [19] A. Rosenfeld, "A Nonlinear Edge Detection Technique," Proc. IEEE, pp. 814-816, May 1970.
- [20] Dus'an Heric \*, Damjan Zazula; "Combined edge detection using wavelet transform and signal registration"; Image and Vision Computing 25 (2007) 652–662.
- [21] C. Pohl & J. L. Van Genderen, "Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications", DOI:10.1080/014311698215748 pages 823-854.
- [22] G. G. Wilkinson. 2005. Results and implications of a study of fifteen years of satellite image classification experiments. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 43(3): 433-440.

# Diseño y construcción de equipo biomédico coadyuvante en el tratamiento de la diabetes considerando las normas IEC 60601 e ISO 14971

## *Design and construction of biomedical equipment adjunct in the treatment of diabetes considering the IEC 60601 and ISO 14971 standards*

Mantilla Guerra Aníbal Rubén,

Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias,

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Universidad Tecnológica Equinoccial

Quito, Ecuador

[anibal.mantilla@ute.edu.ec](mailto:anibal.mantilla@ute.edu.ec)

### I. INTRODUCCIÓN

**Resumen**— Se creó un equipo biomédico inédito coadyuvante en el tratamiento de la diabetes, una terrible enfermedad que es una de las principales causas de muerte en el Ecuador y el mundo. Los procesos de diseño y construcción se ejecutaron en base a metodologías probadas exitosamente en ingeniería y ciencias. El equipo creado considerando estándares, permite al paciente tomar un mayor control sobre su enfermedad, puesto que cuenta con información nutricional sobre la cantidad de calorías que debe ingerir en consideración de sus actividades y tratamiento médico.

**Palabras Clave** -Diabetes; Equipo biomédico; Monitoreo; Control.

**Abstract** — In order to help to treat diabetes, which is a terrible disease and one of the principal causes of death in Ecuador and the world, an unpublished biomedical equipment treatment was created. The design and implementation processes were performed base on successfully tested engineering and science methodologies. The equipment created considering quality standards allows the patient to take more control over his disease since it counts with nutritional information about the calories amount that he should ingest considering his activities and medical treatment.

**Keywords** -Diabetes; Biomedical equipment; Monitoring; Control.

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 un tratamiento ineficaz, podría provocar inclusive estupor, coma y hasta la muerte [1].

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 [2].

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 I [3], [4].

TABLA I. 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 [5]; como se aprecia en la tabla II.

TABLA II. 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 [6], [7] que esté adecuada a su condición médica, tratamiento y actividad física [8].

Por esta razón, y considerando la Innovación Tecnológica como un factor indispensable para el desarrollo y bienestar de la Sociedad, se planeó la creación de un equipo biomédico inédito, que considerando los estándares de calidad, permita a la persona 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.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Determinación del requerimiento calórico

Es fundamental determinar y valorar el estado nutricional de una 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 [9], y el centro médico más importante del mundo dedicado a la investigación y tratamiento de la diabetes, el Joslin Diabetes Center [10]. 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.

Dada la importancia fundamental de controlar el peso corporal, se utiliza al índice de masa corporal como método de referencia para establecer la obesidad. El método de Quetelet [11] para calcular el índice de masa corporal (IMC) de una persona se presenta en la ecuación 1.

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

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 [12]. Su cálculo se realiza según la ecuación 2.

$$TMB = (10 \times peso[Kg]) + (6,25 \times altura[cm]) - (5 \times edad[años]) + X \quad (2)$$

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

La ecuación de Harris Benedict [13] 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 III.

TABLA III. 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 [14], se calcula con la ecuación 3.

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

### B. Diseño y construcción del dispositivo

En cuanto a la tecnología de hardware y software en el mundo, esta 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 [15]. La medicina se ha visto favorecida en este caso por estos avances tecnológicos [16]. Esto se ha aprovechado para el desarrollo del equipo biomédico para diabéticos [17].

Las especificaciones técnicas 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 y de alta eficiencia energética [18].
- El programa calculará el índice de masa corporal, la ingesta y consumo de calorías [19], en función de la valoración nutricional del paciente, tasa metabólica basal, y el cálculo de los MTE'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 [20], almacenar datos, y recibir señales provenientes de una balanza electrónica. Deberá contar además con un reloj en tiempo real.

TABLA IV. NORMAS Y SUS REQUISITOS APLICADOS AL EQUIPO BIOMÉDICO.

NORMA	REQUISITO DE LA NORMA	DISEÑO
IEC60601[21]	<p>Establece la idoneidad de la fuente de poder o suministro de potencia al equipo biomédico, sea interna o externa.</p> <p>Considera la polaridad de la fuente de poder, como un factor que influye en la operación del equipo y la variación de la temperatura en el sitio en el que opera el mismo.</p> <p>Determina la accesibilidad al equipo en función de la inspección visual.</p>	<p>El equipo tiene una fuente de poder externa con polaridad establecida, que minimiza los riesgos eléctricos, a la vez que opera con un bajo consumo de potencia, lo cual evita afectaciones debidas a temperaturas elevadas.</p> <p>La placa base electrónica del equipo no es accesible al usuario.</p>
ISO 14971[22]	<p>Especifica la gestión del riesgo del uso del equipo, tanto biológico como ergonómico.</p> <p>Establece para los fabricantes, un modelo de gestión del riesgo de uso de sus equipos médicos.</p>	<p>El módulo de pesaje para alimentos garantiza la salubridad, pues es de acero inoxidable AISI 304, utilizado en el manejo de alimentos.</p> <p>Las dimensiones del equipo y su forma, lo hacen portable y seguro de utilizar.</p>

El equipo diseñado según estos parámetros es de categoría B, acorde a las caracterizaciones establecidas por la Comisión Electrotécnica Internacional.

### C. 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.

### III. DISEÑO DEL HARDWARE Y SOFTWARE

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

#### A. Diseño hardware

La balanza puede medir en un rango de 0.5g a 3Kg [23], 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 tabla IV, indica la consideración de las normas para el diseño del equipo [24].

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.

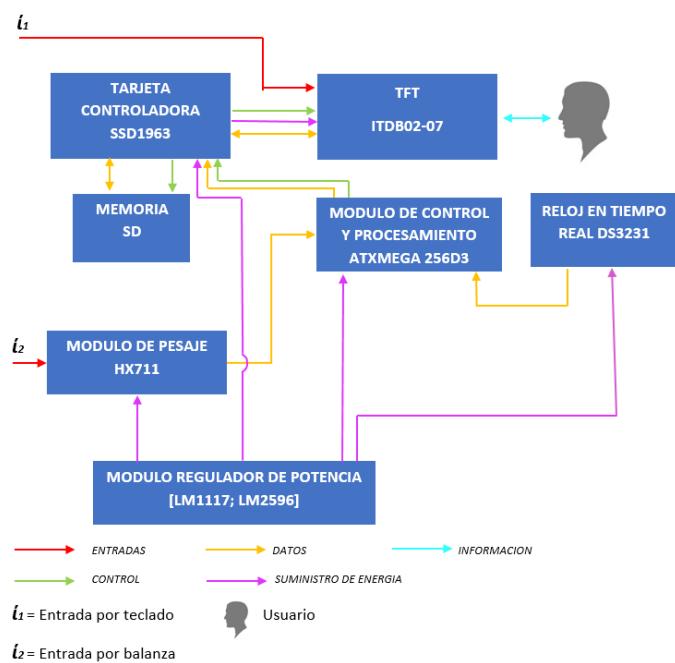


Figura 1. Diagrama de bloques de operación e integración del hardware

### B. 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 gráficas [25] 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.

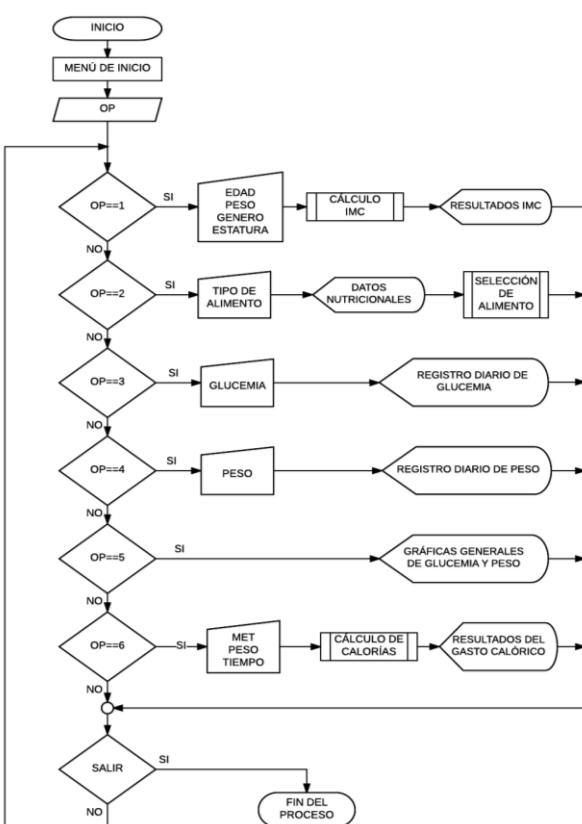


Figura 2. Diagrama de flujo de la operación general del equipo biomédico

### C. 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 siguiente figura se observa el prototipo.



Figura 3. Pruebas de funcionamiento del prototipo

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

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizadas satisfactoriamente las pruebas, se procedió a la construcción del equipo. En la figura 4 puede observarse el equipo biomédico diseñado y construido, una vez que fue terminado.



Figura 4. Equipo biomédico coadyuvante en el tratamiento de la diabetes

En la figura 5 se observa la pantalla del equipo, mientras está funcionando. El usuario recibe información fundamental sobre proteína, carbohidrato, grasa, índice glucémico, fibra, azúcar, y energía total en Kcal.

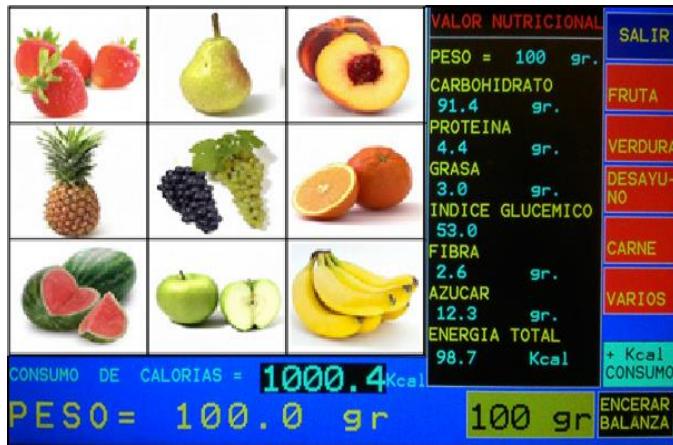


Figura 5. Interface del equipo biomédico en funcionamiento

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.

Las siguientes figuras muestran información altamente importante para el control y tratamiento de la diabetes. La figura 6 muestra la variación glucémica en mayo del 2013, correspondiente al paciente diabético con tratamiento médico, quien llevaba una nutrición que consideraba adecuada para su condición de salud y actividad física. Los valores de glucemia en ayunas establecidos en la medicina para hipoglucemia e hiperglucemia, son 70 mg/dl y 126 mg/dl, respectivamente.

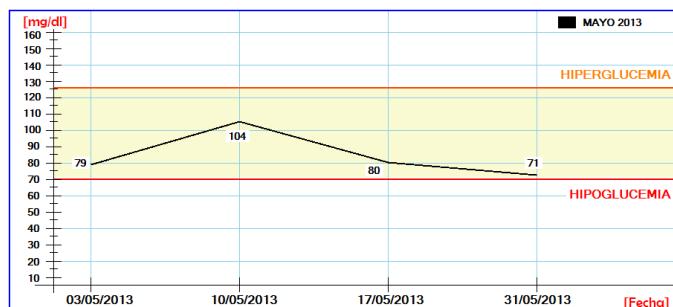


Figura 6. Medidas de glucemia del paciente en mayo del 2013

Si bien los valores de glucemia en ayunas del paciente varían dentro del rango entre hipo e hiperglucemia, una parte de ellos tienden hacia el límite inferior de la banda, lo cual constituye una condición potencialmente grave con serias complicaciones que incluso pueden conducir a la muerte [28].

En la figura 7, se puede apreciar que los valores de glucemia del mismo paciente apenas varían en el mismo lapso de tiempo, manteniéndose su condición lejos de la hiperglucemia y con un margen de seguridad que disminuye el riesgo de hipoglucemia.

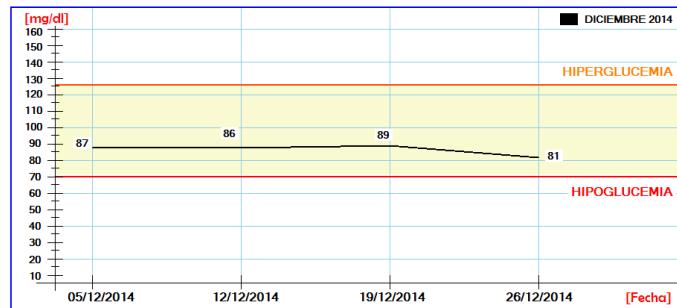


Figura 7. Medidas de glucemia del paciente en diciembre del 2014

## V. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo de crear un equipo biomédico inédito coadyuvante en el tratamiento de la diabetes [26], considerando las normas IEC60601 e ISO 14971.

La metodología utilizada fue adecuada para el cumplimiento del objetivo previsto.

El uso del equipo biomédico permitirá a muchos enfermos diabéticos, controlar de manera más eficiente su enfermedad, para mejorar sus condiciones de vida y de su entorno familiar, sin embargo, no debe descuidar las visitas al médico y ni el tratamiento que le ha sido prescrito [27].

## AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo, agradece a las siguientes personas: Ing. Wilson Mantilla, Dr. Daniel Mideros, MSc. Vladimir Bonilla, Ing. Fabricio Peñafiel, Sr. Néstor Gaibor, Sr. Gabriel Rivera, por su valiosa ayuda.

## REFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Proctor, J. E. (2007). *Diabetes Mellitus*. Barcelona: Lippincott Williams Wilkins.
- [2] Autor. (2003). World Health Organisation. En Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases (pág. 149)."
- [3] Federation, I. D. (2015). *IDF Diabetes Atlas, 7th edn*. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation. Retrieved from <http://www.diabetesatlas.org>
- [4] Roquel, A. (2015, Septiembre 28). *Tengo Diabetes y soy feliz*. Retrieved from <https://yoymadiabetes.wordpress.com/2015/09/>
- [5] INEC. (2013). *Diabetes y Enfermedades hipertensivas entre las principales causas de muerte en el 2013*. Recuperado el 27 de Octubre de 2013.,
- [6] NIH, I. N. (30 de Julio de 2012). *Medline Plus*. Recuperado el 2 de mayo de 2014, de Dieta para diabéticos: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/diabeticdiet.html>
- [7] center, J. d. (2016, 07 10). *Diabetes and nutrition*. Retrieved from [http://www.joslin.org/info/how\\_does\\_fiber\\_affect\\_blood\\_glucose\\_levels.html](http://www.joslin.org/info/how_does_fiber_affect_blood_glucose_levels.html)
- [8] García Yanes, J. (2009). *Relación entre el índice glucémico, carga glucémica y fibra con la resistencia a la insulina en la población canaria*. España .
- [9] Federation, I. D. (2015, 11 16). *Who we are*. Retrieved from <http://www.idf.org/who-we-are>

- [10] Center, J. D. (2015, 10 19). *Joslin Research Milestone*. Retrieved from [http://www.joslin.org/about/Joslin\\_research\\_milestones.html](http://www.joslin.org/about/Joslin_research_milestones.html)
- [11] Danes, J. (2016, julio 13). [www.thelancet.co](http://press.thelancet.com/BMI.pdf). Retrieved from <http://press.thelancet.com/BMI.pdf>
- [12] Salud, L. Y. (2009). Linea Y Salud. Retrieved from <http://www.lineaysalud.com/que-es/metabolismo-basal>
- [13] Villarino. (2013, 10 09). *Sociedad Española de Dietetica y Ciencias de la Alimentacion*. Retrieved from <http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/antropometria/METABOLISMO%20ENERGETICO.VILLARINO.pdf>
- [14] Bolton, W. (2006). Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica tercera edición. Mexico: Alfaomega.
- [15] S, G. R. (2015, Febrero 14). *Pautas de Programas de Actividad Física*. Retrieved from [http://viref.udea.edu.co/contenido/menu\\_alterno/apuntes/ac06-programas.pdf](http://viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/ac06-programas.pdf)
- [16] Merino, T., Barrio, C., Levy, Vaquero, Ríos, Rodríguez, y otros. (2007). *Nuevas tecnologías en el seguimiento y control del paciente diabético*. Madrid: Sociedad Española de Diabetes.
- [17] Picon Cèsar, R. A. (2010). *Tecnologías Aplicadas a la Diabetes*. España.
- [18] Santos, J. (2011). Desarrollo de Sistemas de Instrumentación Avanzados para la Caracterización Y Optimización de Pantallas de Cristal Líquido. Leganés: Tesis Doctoral.
- [19] Rak, S. C. (2016). *USA Patent No. US 20160240101 A1*.
- [20] Contreras, M., Alaya, A., & Valdivieso, C. (2013). Diseño de platafroma de trabajo para microcontroladores Atmel con visualizacion de salidas en tercer estado (tri-state) para probar su arquitectura con elementos de entrada y salida. *Articulo Técnico*, 1-5.
- [21] International Electrotechnical Commission. (2005). *60601-1*. Geneva: IEC.
- [22] Comission, I. S. (2007, 03 01). *SAI GLOBAL*. Retrieved from ISO 14971 Medical devices — Application of risk: <http://infostore.sailglobal.com>
- [23] Otero, P. (s.f.). Diseño y construcción de una balanza electrónica con una interfaz gráfica de visualización . *Articulo Técnico*, 1-5.
- [24] Fisher, A. D. (2009). *USA Patent No. US 7480017 B2*.
- [25] Neil, R. (2013). *The Artificial Pancreas: A Race To The Finish*. Elsevier, 1-8.
- [26] Cuevas, M. (2014). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Recuperado el 06 de Noviembre de 2014, de <https://maricuevas.files.wordpress.com/2014/07/clase-4-el-mc3a9todo-cientc3adfico.pdf>
- [27] Association, A. D. (1999). *101 Consejos para mantenerse sano con diabetes*. Alexandria: Albatros.
- [28] Jesús, F. R. (2010). *Pie Diabetico Atencion Integral*. Mexico,D.F: Mc Graw Hill.

# Analysis and security of mobile devices with android system and exchange of data based on RSA cryptographic systems

*Fernando Solís Acosta*

Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE  
Sangolquí, Ecuador  
efsolis@espe.edu.ec

*Diego Pinto*

Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE  
Sangolquí, Ecuador  
djpinto@espe.edu.ec

*Santiago Solís Acosta*

Análisis de Sistemas, Instituto Tecnológico Rumiñahui-ISTER  
Sangolquí, Ecuador  
sys.solis@gmail.com

## RESUMEN

La seguridad informática cumple un papel importante, hoy en día los dispositivos móviles son una vía para la transmisión de datos, los cuales son susceptibles a las amenazas en los canales de transmisión en la red. Los algoritmos criptográficos actuales permiten aplicar métodos matemáticos de gran utilidad ante las vulnerabilidades que requieren mayor número de cálculo y por ende mayor uso de recursos computacionales. El algoritmo RSA utilizado, demuestra la optimización en la seguridad de los mensajes entre dispositivos móviles, los datos cifrados se envían por canales de comunicación llamados hilos, que mediante fórmulas y procesos ejecutados en el servidor nos ayudaran a ejecutar el cifrado y descifrado de los datos, aplicando las llaves privadas y públicas correspondientes, para viajar en el canal de comunicación hacia otro usuario, los resultados nos demuestran la eficiencia del algoritmo frente a otros métodos y adicionalmente la funcionalidad. Los tiempos de cifrado y descifrado son rápidos frente al envío de información sin ningún método o algoritmo utilizado, permitiendo que el método no sea muy cuestionado frente al criptoanálisis.

**Palabras Clave:** RSA, rendimiento, hilos, dispositivos móviles, seguridad.

## ABSTRACT

Computer security plays an important role, today mobile devices they are a way for data transmission, which are susceptible to threats in the channels of transmission in the network. Modern cryptographic algorithms allow you to apply mathematical methods of great utility to the vulnerabilities that require greater

number of calculation and thus increased use of computing resources [17]. The RSA algorithm used, demonstrates the optimization in the security of messages between mobile devices, the encrypted data is sent by communication channels called threads, which by using formulas and processes running on the server to help us run the encryption and decryption of the data by applying the corresponding public and private keys, to travel in the communication channel to another user, the results give us-show the efficiency of the algorithm compared to other methods and additionally the functionality. The times of encryption and decryption are fast compared to the sent information without any method or algorithm used, allowing that the method is not very questioned in front of cryptanalysis.

**KeyWords:** RSA, performance, threads, mobile devices, security.

## I. INTRODUCCIÓN

La aplicación de un modelo matemático específico determinará el cifrado y descifrado de la información, tanto como su modelo matemático y las claves de confidencialidad [5]. El constante desarrollo de la tecnología no solo se aplica para garantizar la seguridad de la información, también es aplicada a la interferencia de la misma en sus medios de transmisión. El uso de protocolos de seguridad y métodos de encriptación dependen su funcionamiento del método matemático con el cual fueron elaborados [14], permitiendo el cifrado y descifrado de la información, ésto conlleva al continuo desarrollo y mejoramiento de la seguridad de la información para garantizar la confidencialidad, disponibilidad y autenticidad; actualmente los métodos producen excelentes resultados reflejados en el uso de recursos computacionales.

Uno de los propósito de este trabajo es elaborar un

prototipo que aplique el método de encriptación RSA. (Rivest, Shamir y Adleman) el cual es un sistema criptográfico de clave pública desarrollado en 1977, siendo uno de los más utilizados de este tipo [1]. Para garantizar la seguridad en la transmisión de datos desde un smartphone con sistema android al servidor, se encripta la información para su viaje en los canales de comunicación a fin de garantizar su integridad [16].

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 [12]. 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 maneja y almacena 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 que son difíciles de descifrar, asegurando la integridad y la confidencialidad del código [18]. El uso de la aplicación implica el desarrollo de software que es fácil de usar e inaccesible para los intrusos.

## II. METODOLOGÍA

### A. Marco Teórico

Con el objetivo de incrementar el nivel de seguridad de los mensajes al ser transmitidos en la red, se ha propuesto la aplicación del algoritmo RSA que garantiza la confidencialidad e integridad de la información [3]. La Fig. 1 corresponde a la metodología de cifrado y descifrado, muestra el escenario en el cual los dispositivos se encuentran en una misma red inalámbrica, y se realiza el proceso de envío de un mensaje cifrado desde un emisor a un receptor específico.

### B. Sistema Criptográfico RSA

RSA es un sistema criptográfico de clave pública, es

el primer y más utilizado algoritmo de este tipo, y es válido tanto para cifrar como para firmar digitalmente [4]. La seguridad de este algoritmo radica en el problema de la factorización de números enteros. Los mensajes enviados se representan mediante números, y el funcionamiento se basa en el producto, conocido, de dos números primos grandes elegidos al azar y mantenidos en secreto. El algoritmo RSA se basa en los números primos p y q y sus valores de clave pública (e) y privada (d). La factorización debe ser de al menos 1024 bits con números primos p y q, de al menos 500 bits; diferencias entre unos pocos dígitos. La seguridad de este algoritmo se basa en la dificultad para factorizar grandes números primos [13].

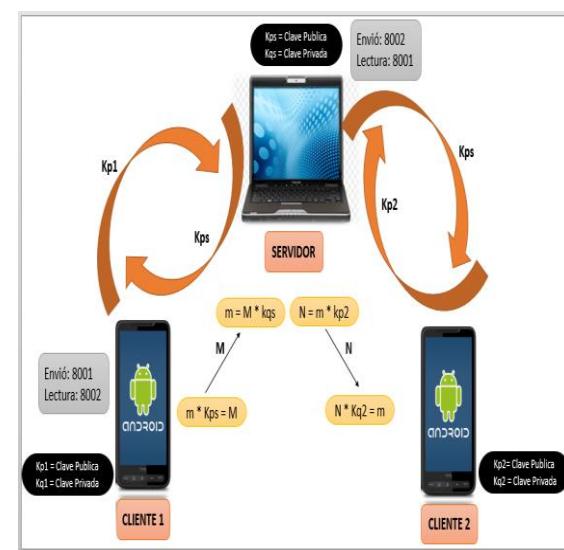


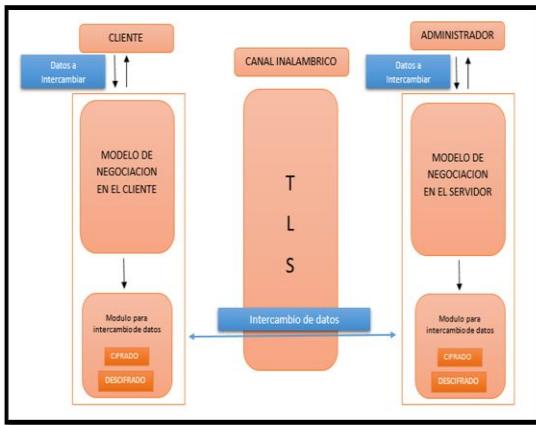
Fig. 1 Metodología conceptual algoritmo RSA

Este sistema nos brinda la generación de claves o llaves diferentes, las públicas y las privadas, con esto el emisor para enviar el mensaje buscará la clave pública del receptor, luego se procede a cifrar el mensaje con esa clave, este viaja al servidor donde la aplicación desarrollada en el proyecto realiza nuevamente el proceso de descifrado y cifrado de los mensajes para llegar al receptor seleccionado. Cuando pasan los mensajes por los canales de transmisión siempre existirá la interceptación (amenazas).

Es por el uso de estas claves que para descifrar los mensajes de manera correcta se necesitaría obtener las claves públicas correctas, lo cual implica el uso de recursos computacionales que deben trabajar en hallar entre millón de posibilidades la correcta, de igual manera el receptor necesitará la clave privada correcta que también hace uso de recursos computacionales, y es así como trabaja el sistema RSA para garantizar la

seguridad [15].

En este trabajo se tiene un servidor central el cuál se encargará de realizar los procesos de cifrado y descifrado en el intercambio de la información entre los usuarios, en la Fig. 2 se muestra la arquitectura utilizada.



**Fig. 2: Arquitectura del Software Cliente - Servidor**

### C. Metodología de desarrollo de RSA

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. Se utilizó Agile Unified Process (AUP), ya que tiene el enfoque del desarrollo de software del Proceso Unificado, teniendo todas las ventajas del mismo añadiendo un proceso mucho mas rápido, serializando procesos detalladamente y generando versionamiento de la aplicación de acuerdo a los diferentes etapas de desarrollo [10].

Para levantar los procesos de conexión entre el Servidor (laptop) y los dispositivos móviles (celulares), se necesita que todos los equipos se conecten a una misma red inalámbrica, la comunicación que se establecerá será mediante sockets que poseen los puertos local y remoto que se conectan mediante hilos o procesos que funcionan de manera simultánea o individual.

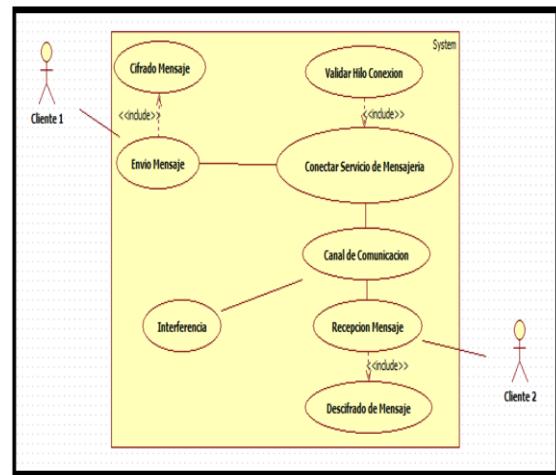
Una vez iniciada la conexión el servidor esperará hasta que los dispositivos inicialicen la aplicación móvil, emitiendo mensajes de conexión en el front-end mientras que el proceso de back-end empezará cuando la información privada enviada al servidor se almacene de tal manera que se pueda reconocer mediante la dirección IP las diferentes peticiones de conexión de los dispositivos móviles.

El dispositivo móvil inicia la conexión con el servidor, estos intercambian sus llaves públicas por medio de hilos de conexión que son procesos que se ejecutan en segundo plano, aprovechando los tiempos muertos del procesador, empezando de esta manera el envío normal del mensaje.

Para cumplir este propósito, es necesario que el mensaje que se va a transmitir esté cifrado cuando viaje entre los dispositivos, de esta manera se evitará que la información sea obtenida por terceros y se transmita de manera segura en los canales de comunicación.

Este proceso se puede realizar de manera simultánea entre n dispositivos, lo que permite evidenciar las ventajas de usar hilos de conexión ya que permiten realizar tareas mientras otras se ejecutan, optimizando la transferencia de datos sin saturar los canales de conexión, los cuales se activan conforme se realicen las peticiones evitando estar siempre latentes lo cual no es productivo.

Se basa en identificar los límites del sistema a través de la captura de los actores de los elementos básicos de funcionalidad a través de casos de uso, y de los protocolos de interacción a través de diagramas de secuencia o de interacción [9] (Fig. 3).



**Fig. 3: Casos de Uso del Sistema**

### D. Proceso de desarrollo

Dado que en la actualidad se han incrementado el número de vulnerabilidades y en consecuencia las personas que se dedican a realizar este proceso, existen diversos mecanismos del algoritmo de cifrado RSA que permiten lograr la seguridad de la red. Los procesos tienen un alto consumo de recursos del sistema y de los costes de software. Por lo tanto, en el presente trabajo se analizaron diferentes soluciones para aumentar la

seguridad y reducir el uso de recursos; desde la línea de base.

Tres indicadores fueron optimizados: el cifrado y descifrado del tiempo, el consumo de recursos del sistema y el rendimiento de la red. Para lograr este objetivo, el trabajo se encaminó en la optimización del modelo matemático con los respectivos algoritmos; y la generación de la aplicación móvil para celulares con sistema operativo android.

La utilización del sistema de cifrado asimétrico RSA se detalla a continuación: Garantizar la seguridad: de acuerdo a los objetivos de seguridad utilizar el modelo matemático para la generación del proceso y codificarlo de manera que funcione en el servidor, mismo que se encargará de descifrar y cifrar el mensaje, con el fin de que si de alguna manera se descubre la primera clave en el envío final al receptor, sería generada una nueva clave [7].

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

En la Tabla I. se describen las herramientas utilizadas.

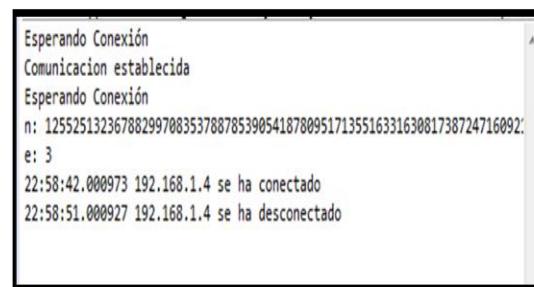
**Tabla I: Software y sistema criptográfico**

<b>ANDROID</b>	Es un sistema operativo para dispositivos móviles. Está basado en GNU/Linux e inicialmente fue desarrollado por Google. Fue diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil, como teléfonos inteligentes, tablets o teléfonos; y también para relojes inteligentes, televisores y automóviles. [8].
<b>ANDROID STUDIO</b>	Es un entorno de desarrollo integrado (IDE), basado en IntelliJ IDEA de la compañía JetBrains, que proporciona varias mejoras con respecto al plugin ADT (Android Developer Tools) para Eclipse.
<b>ECLIPSE</b>	Eclipse es una plataforma de software compuesto por un conjunto de herramientas de programación de código abierto multiplataforma para desarrollar lo que el proyecto llama "Aplicaciones de Cliente Enriquecido", opuesto a las aplicaciones "Cliente-liviano" basadas en navegadores. Esta plataforma, típicamente ha sido usada para desarrollar entornos de desarrollo integrados (del inglés IDE), como el IDE de Java llamado Java Development Toolkit (JDT) y el compilador (ECJ) que se entrega como parte de Eclipse (y que son usados también para desarrollar el mismo Eclipse).
<b>RSA</b>	En criptografía, RSA (Rivest, Shamir y Adleman) es un sistema criptográfico de clave pública desarrollado en 1977. Es el primer y más utilizado algoritmo de este tipo y es válido tanto para cifrar como para firmar digitalmente. La seguridad de este algoritmo radica en el problema de la factorización de números enteros. Los mensajes enviados se representan mediante números, y el funcionamiento se basa en el producto, conocido, de dos números primos grandes elegidos al azar y mantenidos en secreto.

### IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El componente de la aplicación se ha desarrollado utilizando el IDE Eclipse como herramienta de programación, su uso se justifica ya que las aplicaciones que se desarrollan son multiplataforma, con la capacidad de ejecutarse sobre cualquier ambiente [6].

El software del componente se ha desarrollado tomando en cuenta la arquitectura lógica como patrón para la programación, el componente a su vez 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, como se puede evidenciar en la Fig. 4.



**Fig. 4: Estado de la conexión establecida entre el servidor y los dispositivos móviles**

Para poder visualizar el resultado completo, se realizaron pruebas de rendimiento con diferentes números, los cuales varían por el número de sus cifras, tomando como referencia el número de cifras y procediendo a calcular un promedio, con esto se generó una gráfica para visualizar claramente el nivel de seguridad que se obtiene al utilizar cada uno de estos números.

En cada uno de los procesos se realiza el cifrado y descifrado de la información mediante la programación de hilos de conexión entre los usuarios y el servidor, en los cuales se almacenara la dirección IP de cada celular, adicionalmente su clave primaria, los cuales permitirán calcular tiempos de cifrado y descifrado a nivel del servidor, en otras palabras: uso de la interfaz MAP que permite representar una estructura de datos para almacenar pares "clave/valor", en nuestro prototipo se almacenara "Dirección IP / Hilo de envío".

## V. RESULTADOS

### E. Servidor de Aplicaciones

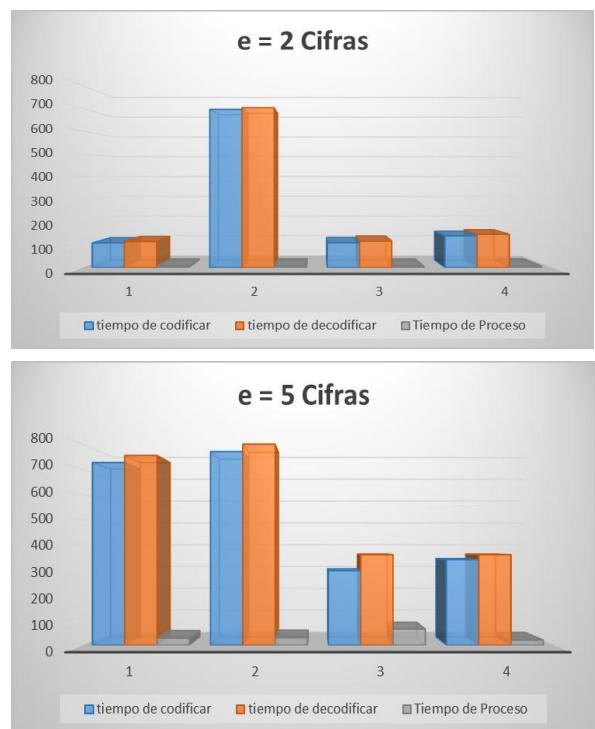
El sistema de cifrado utiliza la variable  $e$ , se efectuaron varias pruebas de rendimiento cambiando el valor del exponente de la clave pública (Tabla II).

**Tabla II: Seguridad con dígitos primos**

a) Seguridad con 2 dígitos primos, $e = 2$				
número de cifras	número primo	tiempo de codificar	tiempo de 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 de codificar	tiempo de 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 de codificar	tiempo de 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 de codificar	tiempo de 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

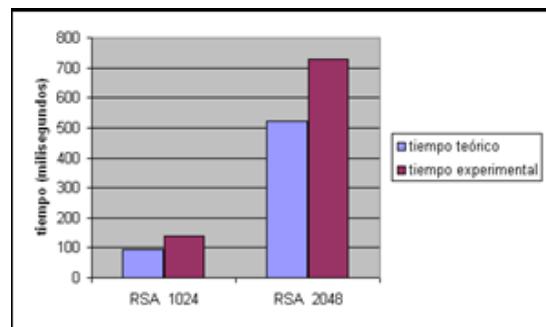
Mientras más cifras se tiene en el exponente de la clave pública, se tiene mayor seguridad de la información por el hecho que los tiempos de codificación y decodificación son mayores, y por ende el uso de recursos computacionales. Lo cual no permitirá que los ataques informáticos puedan decifrar la información,

garantizando su autenticidad, confidencialidad y disponibilidad (Fig. 4).



**Fig. 4: Tiempo de codificación, decodificación y proceso dependiendo del número de cifras de  $e$**

En la Fig. 5 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.



**Fig. 5: Tiempo teórico vs. tiempo experimental en RSA.**

Con el objetivo de evaluar el resultado de los procesos realizados en el trabajo anterior, en la Tabla III se muestran los tiempos de procesamiento en el servidor utilizando el protocolo de cifrado RSA 1024 bits en dispositivos móviles ligeros (PDA).

**Tabla III: Tiempo estimado promedios (Milisegundos)**

<b>Hp (Cliente) / HP (Servidor)</b>	<b>T<sub>HP</sub> (ms)</b>
<b>RSA 1024</b>	<b>22.8532</b>
Curva 160 P	4.1814
Curva 163 K	7.6730
Curva 163 R	8.8217
Híbrido usando curva 160 P	4.5136
Híbrido usando curva 163 K	6.6657
Híbrido usando curva 163 R	7.3579
<b>RSA 2048</b>	<b>139.7652</b>
Curva 224 P	5.7201
Curva 233 K	12.3072
Curva 233 R	14.1477
Híbrido usando curva 224 P	8.8119
Híbrido usando curva 233 K	12.8829
Híbrido usando curva 233 R	13.7194
<b>Ipaq (Client) / HP (Server)</b>	<b>T<sub>HP</sub> (ms)</b>
<b>RSA 1024</b>	<b>95.0540</b>
Curva 160 P	6.87932
Curva 163 K	22.6636
Curva 163 R	24.0402
Híbrido usando curva 160 P	6.2398
Híbrido usando curva 163 K	14.7248
Híbrido usando curva 163 R	15.3606
<b>RSA 2048</b>	<b>522.5822</b>
Curva 224 P	13.4501
Curva 233 K	39.0817
Curva 233 R	40.8836
Híbrido usando curva 224 P	16.0517
Híbrido usando curva 233 K	30.5531
Híbrido usando curva 233 R	31.5004

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 IV.

**Tabla IV: Tiempo estimado promedios (Milisegundos)**

	<b>Codificar (prom.)</b>	<b>Decodificar (prom.)</b>	<b>R.1</b>	<b>R.2</b>
Trabajo Colaborativo	727	755	741	810
Trabajo Actual	770	800	785	800

R.= Resultado

## VI. TRABAJOS RELACIONADOS

En [11] se realizaron trabajos con dispositivos móviles que empezaron a surgir en la primera década de este nuevo siglo con lo cual los niveles de rendimiento y resultados obtenidos no eran significativos por la capacidad de procesamiento que los limitaba, aplicando un nivel de encriptación no tan potente como en la actualidad.

En [2] 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.

## VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- 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 rápido en la obtención de los datos.
- Al incorporar conceptos de usabilidad dentro de la aplicación móvil se incrementa la satisfacción del usuario cuando la utiliza, a la vez que se aprovecha los recursos disponibles por el dispositivo móvil.
- 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.
- Los trabajos futuros deben enfocarse en mejorar la velocidad de procesamiento del cifrado y

descifrado, lo cual debe involucrar mayor seguridad en menor tiempo para dichos procesos.

## REFERENCIAS

- [1] Carlos, B. *Criptografía, MAPLE y RSA*. Marzo de 1998.
- [2] Carrera, Enrique. *El Costo de la Seguridad en Dispositivos Móviles*. Quito, 2004.
- [3] CASTRO, Antonio, y Marcelo Cipriano. «Detección de Anomalías en Oráculos Criptográficos tipo RSA por medio de análisis probabilísticas y estadísticos.» *WICC*, 2012: 40-44.
- [4] Cipriano, M. «Factorización de N: recuperación de factores primos a partir de las claves pública y privada.» 2008.
- [5] Fúster, A., D. De la Guía, L. Hernández, F. Montoya, y J. Muñoz. *TÉCNICAS CRIPTOGRÁFICAS DE PROTECCIÓN DE DATOS*. Ra-Ma, 2000.
- [6] Geer, David. «Eclipse becomes the dominant Java IDE.»
- [7] Gómez, Roberto, Ricardo Lira, y Adolfo Grego. *Esquema de Almacenamiento Seguro de Llaves Criptográficas*. México D.F., Noviembre de 2001.
- [8] Inc., Google. *Android*. 2016. [https://www.android.com/intl/es\\_es/](https://www.android.com/intl/es_es/) (último acceso: 2016).
- [9] Insfrán, Emilio, Elena Tejadillos, Sofía Martí, y Margarita Burbano. *Transformación de Especificación de Requisitos en Esquemas Conceptuales usando Diagramas de Interacción*. 2002.
- [10] Li, Jianwe, y Xunan Wang. «Research and Practice of Agile Unified Process.» *IEEE Xplore Digital Library*, 2010.
- [11] López, Carlos E. «Cinvestav.» *Sistema de Seguridad para Intercambio de Datos en Dispositivos Móviles*. México D.F., Abril de 2005.
- [12] Meza, Jorge. *Cifrado y descifrado asimétrico con RSA utilizando C#/Mono*. Noviembre de 2010.
- [13] Morales Luna, Guillermo. «LAS MATEMÁTICAS Y SUS APPLICACIONES EN COMUNICACIONES DIGITALES.» 10, nº 1 (2009).
- [14] Pino, Caballero, y Candelaria Hernández. *Criptología y Seguridad de la Información: Actas de la VI Reunión Española Sobre Criptología y Seguridad de la Información: VI RECSI*. Ra-Ma, 2000.
- [15] Schneier, B. *Applied Cryptography. Protocols, Algorithms, and Source Code in C*. Wiley, 1996.
- [16] Shabtai, A., Y. Fledel, U. Kanonov, Y. Elovici, S. Dolev, y C. Glezer. «Google Android: A Comprehensive Security Assessment.» *IEEE Xplore Digital Library*, 2010.
- [17] Stallings, William. *CRYPTOGRAPHY AND NETWORK SECURITY*. Pearson, 2014.
- [18] Young, A., y M. Young. *An Elliptic Curve Asymmetric Backdoor inOpenSSL RSA Key Generation*. 2006.

# A multi-class extension for case-based reasoning applied to medical problems: A first approach

D. Viveros-Melo\*

M. Ortega-Adarme<sup>+</sup>

Universidad de Nariño

Pasto, Colombia

Email: \*dianavive.77@udenar.edu.co

<sup>+</sup>mabel12-02@udenar.edu.co

X. Blanco Valencia

BISITE Research Group

Universidad de Salamanca, Spain

Email: xiopepa@usal.es

A. E. Castro-Ospina

Research Center of the Instituto

Tecnológico Metropolitano

Medellín, Colombia

Email: andrescastro@itm.edu.co

S. Murillo Rendón

Universidad Autónoma de Manizales

Manizales, Colombia

Email: smurillo@autonoma.edu.co

D. H. Peluffo-Ordóñez

Universidad Técnica del Norte

Ibarra, Ecuador

E-mail: dhpeluffo@utn.edu.ec

**Abstract**—Case-based reasoning (CBR) is a problem solving approach that uses past experience to tackle current problems. CBR has demonstrated to be appropriate for working with unstructured domains data or difficult knowledge acquisition situations, as it is the case of the diagnosis of many diseases. Some of the trends and opportunities that may be developed for CBR in the health science are oriented to reduce the number of features in highly dimensional data, as well as another important focus on how CBR can associate probabilities and statistics with its results by taking into account the concurrence of several ailments. In this paper, in order to adequately represent the database and to avoid the inconveniences caused by the high dimensionality, a number of algorithms are used in the preprocessing stage for performing both variable selection and dimension reduction procedures. Subsequently, we make a comparative study of multi-class classifiers. 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.*

## I. INTRODUCTION

Case-based Reasoning (CBR) solves new problems by retrieving previously solved problems and reusing the corresponding solutions. In the past twenty years, CBR methodology has attracted much attention, showing its usability in applications usually focused on open and weak theory domains, such as medical diagnosis, design, corporate planning and many engineering domains [1]. The core of the CBR is the case, which usually indicates a problem situation. From another point of view, a case is prior learning experience, which has been captured and can be reused to solve future problems. The life cycle for solving a problem using CBR is mainly carried out in four phases: to identify the current problem and find a past case similar to the new case (retrieve), using the case and suggest a solution to the current problem

(reuse/adaptation), evaluate the proposed solution (revise), and update the system to learn from experience (retain) [2].

The CBR has demonstrated to be an appropriate methodology for:

- Working with unstructured domains data or difficult knowledge acquisition situation, for example, many diseases are not well understood by formal models or universally applicable guidelines [3], [4].
- Making tasks in the medical domain. These tasks cover diagnosis, therapy planning, interacting with patients, identifying medical errors etc. Among these tasks, medical diagnosis has been one of the most popular research subjects in both medical informatics and computer science communities. [5]
- When guidelines are available, they provide a general framework to guide clinicians, but require consequent background knowledge to become operational, which is precisely the kind of information recorded in practice cases; cases complement guidelines very well and help to interpret them [4].
- Highly data intensive field in medicine, where it is advantageous to develop a system capable of reasoning from pre-existing cases from an electronic medical record, for instance, or from cases mined from the data. [4].

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 [4], [6], [7]. However, the medical applications offer a number of challenges for the CBR researchers and drive advances in research [8].

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.

## II. 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 [9]. 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. 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) and t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE).

### 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.

## III. 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. 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. Consisting of 13 attributes which include age, sex, chest pain type, resting blood pressure, cholesterol, fasting blood sugar, resting ECG, maximum heart rate, exercise induced angina, oldpeak, slope, number of vessels coloured, thal 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: 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.
- 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 [10].
- **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.

#### IV. 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  $0.397 \pm 0.07$ ,

which is not far from the result obtained in [11], where the classification accuracy with 7 attributes is of 70.36%.

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,

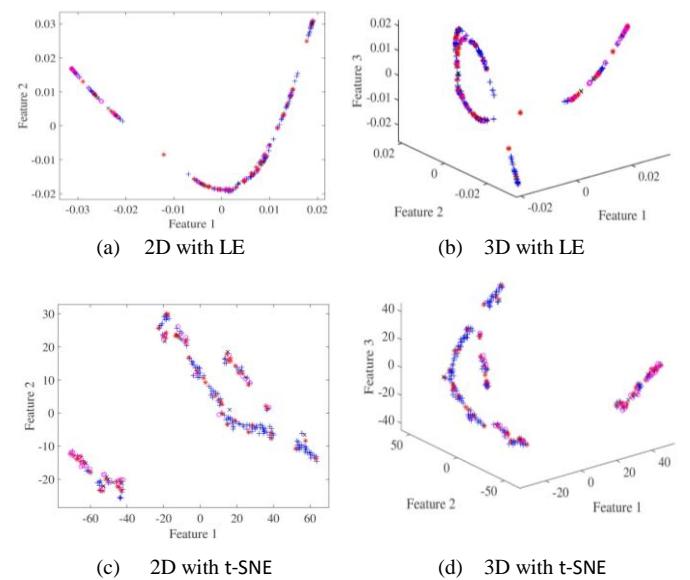


Fig. 2. Low-dimensional scatterplots for Cleveland database. Figures (a), (c) show the first two features from database. Figures (b), (d) show the first three features from database.

however, as for Cleveland dataset, dimensionality reduction does not substantially improves 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  $0.028 \pm 0.016$ , improving the results obtained in [12] where they achieved an average accuracy of 0.9328.

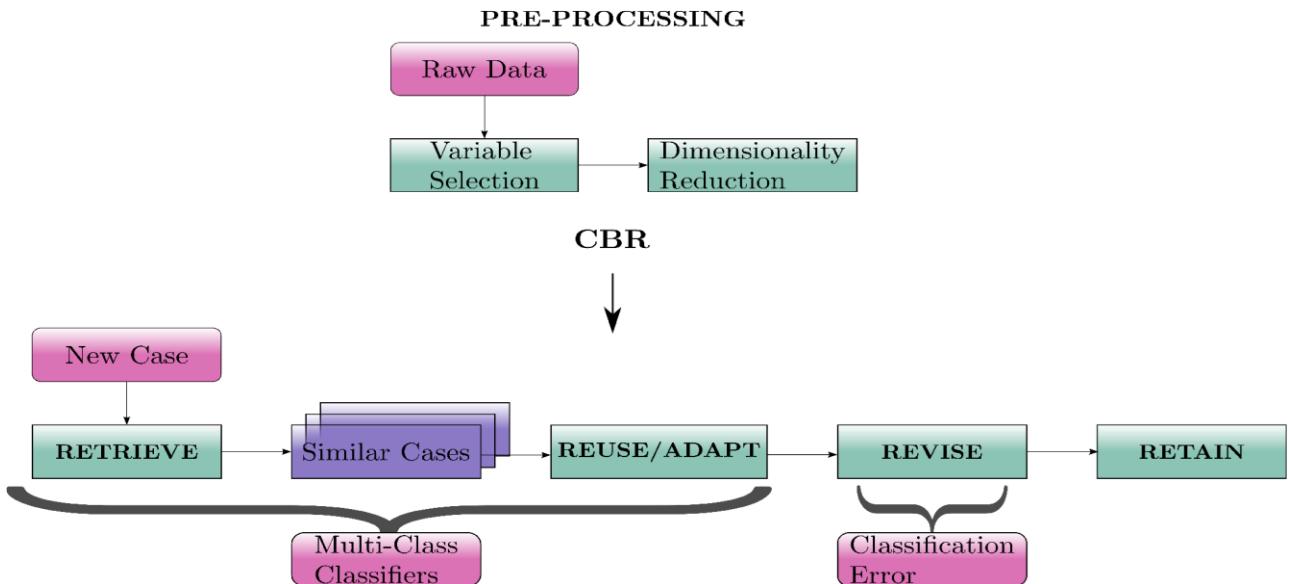


Fig. 1. Block diagram of proposed methodology. The aim of the comparative study is assessing the possibility of incorporating multi-class classifiers into CRB approaches design, as well as identifying the best classifier for this task.

TABLE I  
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	$0.381 \pm 0.08$	$0.389 \pm 0.067$	$0.389 \pm 0.013$	$0.393 \pm 0.093$
		3	$0.382 \pm 0.06$	$0.367 \pm 0.09$	$0.389 \pm 0.013$	$0.393 \pm 0.069$
		5	$0.397 \pm 0.07$	$0.362 \pm 0.089$	$0.389 \pm 0.028$	$0.4 \pm 0.087$
		7	$0.397 \pm 0.07$	$0.347 \pm 0.062$	$0.401 \pm 0.029$	$0.393 \pm 0.069$
	LE	2	$0.408 \pm 0.069$	$0.393 \pm 0.077$	$0.389 \pm 0.013$	$0.393 \pm 0.041$
		3	$0.397 \pm 0.066$	$0.397 \pm 0.075$	$0.389 \pm 0.013$	$0.374 \pm 0.047$
		5	$0.389 \pm 0.067$	$0.404 \pm 0.085$	$0.412 \pm 0.036$	$0.389 \pm 0.067$
		7	$0.389 \pm 0.065$	$0.382 \pm 0.065$	$0.397 \pm 0.07$	$0.404 \pm 0.064$
Cardiotocograms	t-SNE	2	$0.037 \pm 0.015$	$0.084 \pm 0.038$	$0.071 \pm 0.017$	$0.077 \pm 0.017$
		3	$0.036 \pm 0.016$	$0.073 \pm 0.02$	$0.054 \pm 0.019$	$0.076 \pm 0.018$
		5	$0.032 \pm 0.017$	$0.088 \pm 0.017$	$0.039 \pm 0.019$	$0.075 \pm 0.016$
		8	$0.035 \pm 0.016$	$0.079 \pm 0.016$	$0.033 \pm 0.017$	$0.075 \pm 0.019$
		10	$0.031 \pm 0.017$	$0.082 \pm 0.036$	$0.028 \pm 0.016$	$0.076 \pm 0.019$
	LE	2	$0.045 \pm 0.014$	$0.078 \pm 0.016$	$0.086 \pm 0.017$	$0.102 \pm 0.023$
		3	$0.054 \pm 0.018$	$0.072 \pm 0.015$	$0.061 \pm 0.016$	$0.09 \pm 0.02$
		5	$0.042 \pm 0.014$	$0.075 \pm 0.031$	$0.048 \pm 0.014$	$0.09 \pm 0.016$
		8	$0.039 \pm 0.015$	$0.067 \pm 0.019$	$0.038 \pm 0.013$	$0.065 \pm 0.016$
		10	$0.381 \pm 0.25$	$0.06 \pm 0.017$	$0.038 \pm 0.016$	$0.063 \pm 0.016$

By performing a stability assessment, it could be seen from Figures 4,5 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.

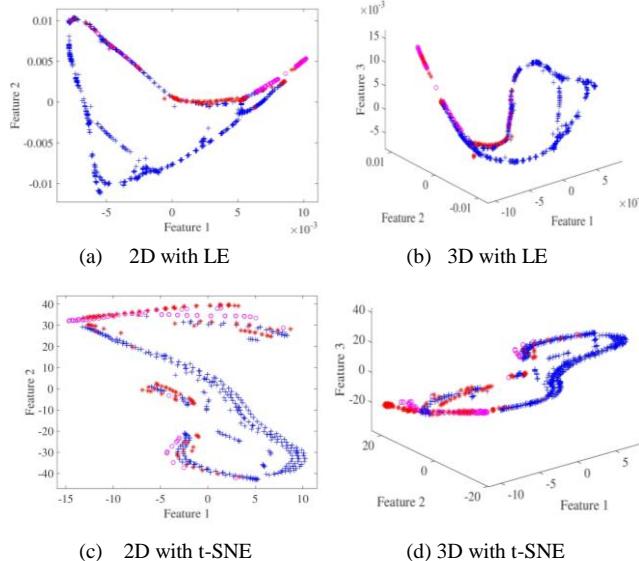


Fig. 3. Low-dimensional scatterplots for Cardiotocograms database. Figures (a), (c) show the first two features from database. Figures (b), (d) show the first three features from database.

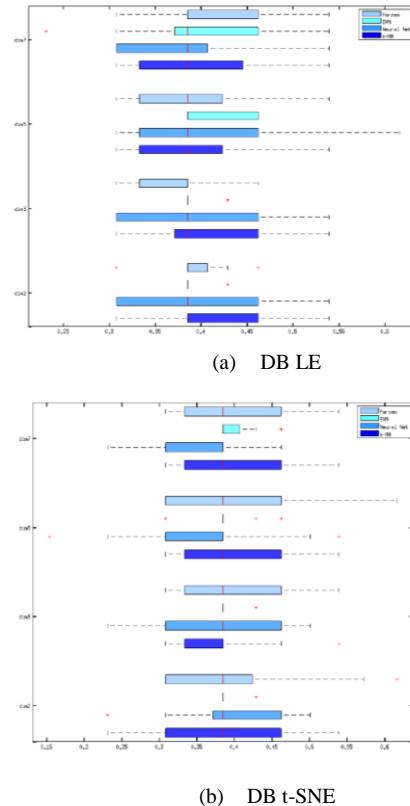


Fig. 4. Classification error boxplots for considered classification techniques on Cleveland databases.

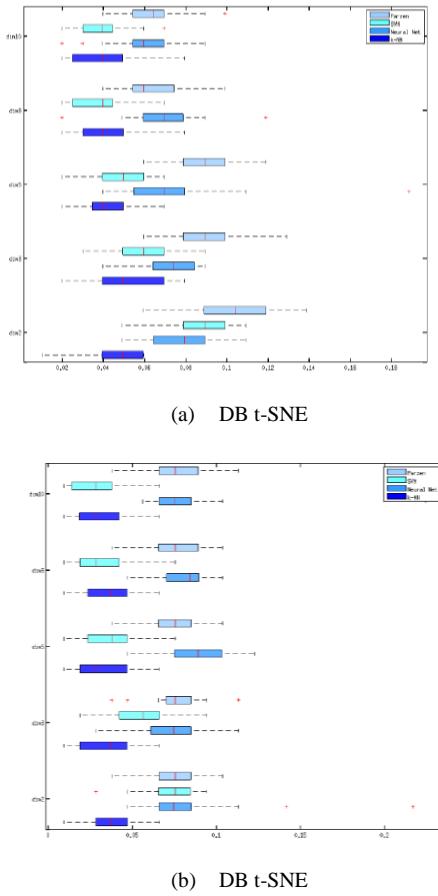


Fig. 5. Classification error boxplots for considered classification techniques on Cardiotocograms databases.

## V. 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.

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 [4], [13].

As a future work, we will explore the possibility to design a case recovery stage for CBR able to deal with mult-class

cases while providing users with class membership (probabilities to belong) estimates for a new case.

## 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

- [1] L. Huan, X. Li, D. Hu, T. Hao, L. Wenyin and X. Chen. Adaptation Rule Learning for Case-Based Reasoning. “ *Concurrency and Computation: Practice and Experience* ”, 21(5), 673-689, 2009.
- [2] J. Kolodner, Case-based Reasoning. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993.
- [3] J. M. Juárez Herrero, “Una aproximación multimodal al diagnóstico temporal mediante razonamiento basado en casos y razonamiento basado en modelos. aplicaciones en medicina,” *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 11, pp. 77–80, 2007.
- [4] I. Bichindaritz, “Case-based reasoning in the health sciences: What’s next?” *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 36, no. 2, pp. 127–135, feb 2006.
- [5] HT. Wang and AU Tansel. MedCase: A Template Medical Case Store for Case-Based Reasoning in Medical Decision Support. In *Proceedings of the 2013 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining*, pp. 962-967. ACM, 2013.
- [6] L. Gierl and R. Schmidt, “CBR in medicine,” in Case-Based Reasoning Technology, From Foundations to Applications. Springer-Verlag: New-York, 1998, pp. 273–298
- [7] S. Montani, “Exploring new roles for case-based reasoning in heterogeneous AI systems for medical decision support,” *Appl. Intell.*, pp. 275–285, 2007.
- [8] S. Begum, M. Uddin, P. Funk, N. Xiong and M. Folke. 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)*, 41(4), 421-434. (2011).
- [9] J. L. Kolodner, “Maintaining organization in a dynamic longterm memory,” *Cognitive Science*, vol. 7, no. 4, pp. 243–280, 1983.
- [10] S. J. Sheather *et al.*, “Density estimation,” *Statistical Science*, vol. 19, no. 4, pp. 588–597, 2004.
- [11] S. Bhatia, P. Prakash, and G. N. Pillai, “Svm based decision support system for heart disease classification with integer-coded genetic algorithm to select critical features,” 2008.
- [12] Sundar. C, M. Chitradevi, and G. Geetharamani, “Article: Classification of cardiotocogram data using neural network based machine learning technique,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 47, no. 14, pp. 19–25, June 2012, full text available.
- [13] M. Kwiatkowska and S. Atkins, “Case representation and retrieval in the diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea: A semiofuzzy approach,” 2004.

# Machine learning for the prediction of preterm pregnancy using EHG signals

Angela Stephanya Caipe Gordillo

Departamento de ingeniería electrónica  
Universidad de Nariño  
Pasto, Colombia  
Angela.caipe@aiesec.net

Jorge Armando Muñoz Rosero

Departamento de ingeniería electrónica  
Universidad de Nariño  
Pasto, Colombia  
George\_777@hotmail.com

Diego Hernan Peluffo Ordoñez

Departamento de ingeniería electrónica  
Universidad de Nariño  
Pasto, Colombia  
diegohpo@gmail.com

**Abstract-** The pre-term pregnancy occurs when labor occurs before 37 weeks of gestation, this fact is a major cause of mortality and morbidity in children, at present. Despite that there are several factors that indicate risk a pre-term delivery, it can be produced without the need of a symptom or indication factor. In the world it is estimated that around 15 million premature babies was born each year, this quantity is growing and also has a greater impact in developing countries. That is why several investigations aimed at solving this problem through a study of records of uterine electrical activity, known as electrohysterography, which represents a great hope when detecting a pre-term pregnancy. By using computerized systems based on techniques of machine learning it is possible to determine the probability of pregnancy preterm as from electrohysterography records, however, there is still no definitive methods to characterize and classify these records. This article presents a comparison methodology for the diagnosis of pre-term pregnancy occurs using different supervised Pattern recognition techniques such as feature selection, dimensionality reduction and classification. Considered techniques and reach an average error of 18.75%.

**Keywords –** *Electrohysterography, feature selection, Preterm pregnancy, Supervised classification*

## I. INTRODUCTION

En el mundo se estima que alrededor de 15000000 de bebes prematuros nacen al año, una cifra que va en aumento, además, tiene mayor impacto en los países en desarrollo y las consecuencias son más sentidas en las clases socio-económicas desfavorecidas<sup>1</sup>[1].

El embarazo pre-término ocurre cuando se presenta labor de parto antes de la semana 37 de gestación, entre las principales consecuencias que conlleva un nacimiento prematuro se encuentra un alto riesgo de mortalidad en los primeros años de vida, además de un mayor grado de morbilidad que incluye

problemas respiratorios, dificultades alimenticias, ser más propensos a infecciones graves, problemas cerebrales, dificultades visuales y auditivas. A pesar de que existen diversos factores que indiquen riesgo de un trabajo de parto prematuro, este se puede producir espontáneamente sin haberse presentado ningún síntoma o factor indicativo [1] [2] [3].

Diversos estudios han demostrado el cambio de la actividad eléctrica uterina durante el embarazo, así mismo, existe una relación como factor discriminante potencial entre un parto pre-término y uno a término completo. Siendo el electrohisterograma (EHG) un procedimiento no invasivo que se lleva a cabo para detectar cambios bioeléctricos que se presentan en la actividad muscular uterina en el embarazo, a manera de registros, los cuales son recolectados para la caracterización de la magnitud y la duración de las contracciones uterinas, de este modo permite ver la progresión fisiológica y patofisiológica del trabajo de parto, por lo tanto, realizar un estudio comparativo de registros de la actividad eléctrica uterina, mediante electrohisterografía, representa un elemento clave en la detección de un parto prematuro [4][5][6].

Teniendo en cuenta lo anterior y a pesar de ser un campo de estudio relativamente nuevo, se han presentado diversos estudios de señales de electrohisterografía en los cuales se evalúa las características de estas señales como tal, obteniéndose resultados prometedores, pero no concluyentes hasta el momento.

En consecuencia, se analizaron características propias y dientes para este tipo de señales, así mismo se estudiaron técnicas de selección de características, métodos de reducción de dimensión con el objetivo de optimizar la clasificación y obtener resultados satisfactorios, en el proceso de clasificación sobre espacios de características, fue necesario utilizar técnicas

<sup>1</sup> <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs363/es/>

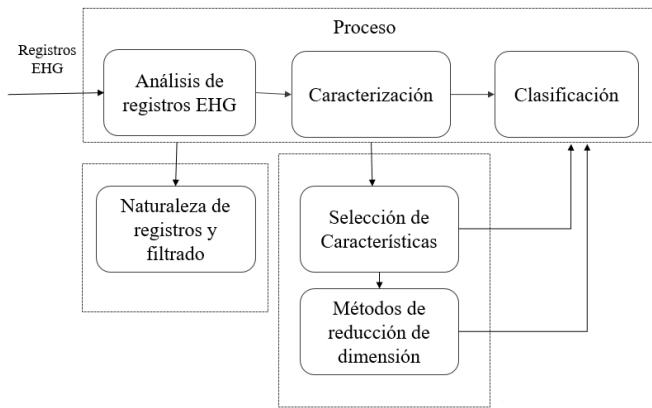
simples de reconocimiento de patrones que los generalicen mejor, al ser menor el número de parámetros que deben ser determinados sobre la base de datos de muestras obtenidas, de esta forma, fueron de especial interés los clasificadores lineales o cuadráticos, fue así que se estudiaron los siguientes clasificadores dentro de este grupo en el espacio de características o basados en reglas de decisión: el clasificador Normal Lineal (LDC)<sup>2</sup> este asume que todas las clases se caracterizan por múltiples distribuciones normales con igual matriz de covarianza, Clasificador Normal Cuadrático (QDC)<sup>2</sup> con múltiples distribuciones normales, pero cada una caracterizada con una matriz de covarianza diferente, clasificadores no lineales como *support vector classifier*, (SVC) que transforma el espacio de características en un espacio con más dimensiones, de manera que las características sean separables, y por último el clasificador de Parzen que obtiene estimaciones de densidades de probabilidad condicional para hacer la clasificación [11][12].

En este trabajo se presentan los primeros resultados de un estudio comparativo el cual consiste en evaluar el desempeño de técnicas de reconocimiento de patrones que presenten un equilibrio entre efectividad, costo computacional y fácil interpretación del concepto fisiológico al momento de realizar la clasificación de registros EHG, en diagnósticos de riesgo de embarazo pre-termino, siendo hasta el momento el mejor resultado de la mediana del error 18.75%.

Este artículo está organizado de la siguiente forma: presentación de registros EHG, así como su caracterización en la Sección II, fase experimental en la Sección III, resultados obtenidos en la Sección IV, conclusiones y trabajo futuro en la Sección V.

En Fig.1. Se presenta un diagrama de bloques que representa el orden del proceso llevado a cabo.

Fig. 1 Diagrama de bloques General

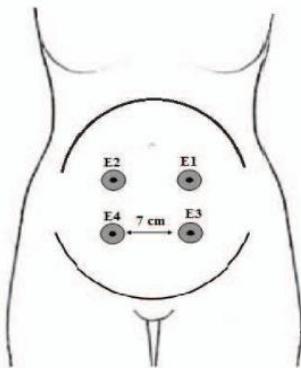


## II. REGISTROS EHG

### A. Base de datos

En el banco de señales de PHYSIONET se encuentra la base de datos TPDB EHG, recolectada entre 1997 hasta 2006 por el Departamento de Obstetricia y Ginecología, del Centro Médico de Ljubljana, Ljubljana<sup>3</sup>. Para este estudio se utilizaron 38 muestras de cada clase (termino y pre-termino), la duración de cada registro es aproximadamente 30 minutos, cada señal ha sido digitalizada a 20 muestras por segundo, para cada canal con 16 bits de resolución a un rango de  $\pm 2.5$  milivoltios [4]. Cada registro cuenta con la información obtenida por tres canales producidos por una diferencia de potencial en cuatro electrodos superficiales, la disposición de los electrodos se puede observar en la Fig. 2.

Fig. 2 Posición de los electrodos



Teniendo en cuenta la Fig.2. El primer electrodo (E1) se ubica 3.5 cm debajo y hacia la izquierda del ombligo, el segundo electrodo (E2) está ubicado 3.5 cm por encima y a la izquierda del ombligo, el tercer electrodo se encuentra ubicado a 3.5 cm por encima del ombligo hacia la derecha y finalmente el cuarto electrodo se encuentra ubicado 3.5 cm por debajo del ombligo en la parte derecha [4]. La diferencia de potenciales entre estos electrodos fueron registrados en tres canales de la siguiente forma:

- PRIMER CANAL:  $S_1 = E_2 - E_1$  (1)
- SEGUNDO CANAL:  $S_2 = E_2 - E_3$  (2)
- TERCER CANAL:  $S_3 = E_4 - E_3$  (3)

Teniendo en cuenta los efectos producidos por diferentes fenómenos que aportan información innecesaria o ruido que deterioran la calidad de la señal a la hora de realizar el procesamiento de las señales se dispuso a filtrar la información contenida en cada canal teniendo en cuenta que las señales EHG operan mejor en un rango de banda comprendido entre 0 hasta 5 Hz [4], de esta forma, fue necesario realizar un filtrado, las señales EHG han sido filtradas entre 0.3 Hz a 4 Hz utilizando un filtro digital Butterworth, también se han recortado 180 segundos al comienzo y al final de cada señal con el fin de evitar efectos transitorios, por último, se tomaron 1394 segundos para

<sup>2</sup> [http://bibing.us.es/proyectos/abreproj/70448/fichero/05\\_Capitulo4.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproj/70448/fichero/05_Capitulo4.pdf)

<sup>3</sup> <https://physionet.org/physiobank/database/tpehgdb/>

cada señal, es decir, cada registro tiene un total de 27880 muestras.

### B. Caracterización de Señales

Si se entiende el útero como un sistema bioeléctrico, el cual está compuesto por miles de millones de células, se puede tratar con un sistema complejo y dinámico, teniendo en cuenta investigaciones anteriores [10] se realiza una caracterización de las señales, teniendo en cuenta un análisis en tiempo, frecuencia y tiempo-frecuencia como lo son las componentes Wavelet [15].

Las características utilizadas en este estudio comparativo se especifican en la Tabla 1.

Tabla1. Características representativas para EHG

Característica	Formulación Matemática
Integral bajo la Curva	$\sum_{n=1}^N  (x_n) $
Media	$\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N  x_n $
Raíz Media cuadrática (VRMS)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2}$
Integral Simple Cuadrada	$\sum_{n=0}^N  x_n ^2$
Varianza	$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$
Desviación estándar	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
Diferencia absoluta de la desviación estándar	$\frac{1}{N - 1} \sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} - x_n)^2$
Longitud Fractal Máxima	$\log 10 \left( \sqrt{\sum_{n=1}^{N-1} (x_n - x_{n+1})^2} \right)$
Cambio del promedio de Amplitud	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-1}  x_{n+1} - x_n $
Entropía	$H = - \sum_i p_i (\log_2 p_i)$
Frecuencia Pico	$\arg \left( \frac{f_s}{N} \max_{i=0}^{N-1} P(i) \right)$

---

<b>Frecuencia Media</b>	$i_m \frac{f_s}{N}, \sum_{i=0}^{i=i_m} P(i) = \sum_{i=i_m}^{i=N-1} P(i)$
<b>Componentes Wavelet</b>	$\sum_k h(k - 2n)X(k)$

---

### III. FASE EXPERIMENTAL

Una vez identificado los registros a trabajar, se procedió a realizar la extracción de características, el análisis de las mismas, y uso de métodos de selección de características y reducción de dimensión para obtener una mejor representación de los registros de EHG a la hora de clasificarlos.

#### A. Selección de Características

Los registros de EHG fueron representados por medio de características calculadas en el dominio del tiempo y frecuencia, debido a que la cantidad de características era realmente extensa, se presentó la necesidad de implementar técnicas de selección de características, de esta forma se obtuvo una matriz de atributos más compacta y apropiada a la hora de representar y clasificar este fenómeno, para ello se eliminaron atributos redundantes e irrelevantes, con el objeto de minimizar problemas relacionados con la maldición de la dimensionalidad, sobre aprendizaje<sup>4</sup> que conlleven a modelos resultantes confusos además de ser nocivos en los algoritmos de aprendizaje. En [10], las características más relevantes fueron, la raíz media cuadrada (VRMS), frecuencia media y no lineales como la muestra de entropía, sin embargo, en este estudio las características que mejor representaron los registros de EHG fueron las componentes de Wavelet, resultados obtenidos mediante el uso de dos métodos de selección de características ranking y sub set. El método *bestfirst* de ranking analiza el desempeño de las características a una a una respecto a una característica principal, este fue implementado y descartado porque los resultados obtenidos no representaron eficientemente los registros EHG, como, el método de *subset* que selecciona características mediante su desempeño en subconjuntos, de esta forma fue necesario recurrir al método de selección por decisión de árboles J48 basados en el algoritmo ID3 [7][8][9], esta afirmación se evidencia en la sección IV.

#### B. Reducción de dimensión

La reducción de dimensión fue utilizada en la extracción de atributos, de esta forma se buscó obtener características más separables<sup>4</sup>. Para ello se consideraron métodos convencionales y no convencionales que incluyen análisis en el espectro completo y disperso, algunos de ellos son: Análisis de Componentes Principales (PCA), Ajuste Localmente Lineal (LLE) y Análisis del Espacio Tangencial Local Lineal (LLTSA) [16].

<sup>4</sup> <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-informatica/analisis-de-datos/transparencias/SELECCION%20DE%20ATRIBUTOS.pdf>

- *Análisis de Componentes Principales (PCA)*

Este método identifica un primer componente que presente la mayor cantidad de varianza, un segundo componente que tenga la siguiente mayor cantidad y así sucesivamente, en términos matemáticos [13],[16]:

$$\text{cov}(X)M = \lambda M \quad (4)$$

Donde  $\text{cov}(X)$  es la matriz de la covarianza de las muestras,  $X$  es la matriz de características, además se tiene la matriz principal de vectores propios  $\lambda$

- *Método de Ajuste Localmente Lineal (LLE)*

LLE asume una estructura localmente lineal en los datos, de forma que cada muestra es susceptible de regresión lineal a partir de sus vecinos más próximos, matemáticamente se expresa:

$$\varepsilon_{II}(Y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij} y_i^T y_j = \text{tr}(YMY^T) \quad (5)$$

Donde  $M$  es una matriz  $n \times n$  encontrada como

$M = (I - W)^T(I - W)$ , y  $Y$  contiene el  $y_j$ 's como sus columnas

- *Análisis del espacio Tangencial Local Lineal (LLTSA)*

Utiliza una técnica lineal para minimizar la función de coste en del Análisis de espacio Tangencial Local (LTSA), partiendo del algoritmo matemático tenemos:

$$\begin{aligned} & \arg \min_{x, \theta, Q} \sum_{j=1}^K \|x_{i_j} - (x + Q\theta_j)\|_2^2 \\ & = \arg \min_{\theta, Q} \|x_i H_k - (x + Q\theta)\|_2^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Donde  $H_k = I - \frac{ee^T}{k}$ ,  $Q$  es una matriz ortonormal del espacio tangencial con  $d$  columnas  $\theta = [\theta_1, \dots, \theta_k]$ , donde  $\theta_j$  es la coordenada local correspondiente para la base  $Q$ .

### C. Clasificación

Una vez extraídos los atributos finales se procede a realizar la clasificación a partir métodos supervisados, es decir, se tiene en cuenta un conocimiento a priori para determinar si un objeto está dentro de una u otra categoría. En esta investigación se presentan dos posibles condiciones, por tanto, la clasificación es biclase, dentro del algoritmo de clasificación se propuso realizar el entrenamiento con 30 muestras correspondientes a cada clase y 8 muestras de cada tipo para el test de validación.

Los clasificadores definidos en el espacio de características, que mejor generalizaron las técnicas simples de reconocimiento de patrones utilizados en este estudio fueron:

- *Clasificador normal lineal (LDC)*

Este clasificador asume que todas las clases se caracterizan por múltiples distribuciones normales con igual matriz de covarianza  $S$ . Teniendo en cuenta que el caso de estudio es un problema de dos clases, el clasificador LDC [16], es matemáticamente expresado así:

$$f(x) = \left[ x - \frac{\bar{x}_{(1)} + \bar{x}_{(2)}}{2} \right]^t S^{-1} (\bar{x}_{(1)} + \bar{x}_{(2)}) + 2 \log \frac{P_{(1)}}{P_{(2)}} \quad (7)$$

Donde:

$$\circ \quad P_{(i)}, i = 1, 2 \text{ probabilidades a priori}$$

- *Clasificador normal cuadrático (QCD)*

Este clasificador asume que las clases tienen múltiples distribuciones normales, pero cada una es caracterizada por una matriz de covarianza diferente, para el caso de estudio con un problema biclase, el clasificador QDC, se expresa matemáticamente:

$$\begin{aligned} f(x) = & \sum_{i=1}^2 (-1)^i (x - \bar{x}_{(i)})^t S_{(i)}^{-1} (x - \bar{x}_{(i)}) + 2 \log \frac{|P_{(1)}|}{|P_{(2)}|} + \\ & \log \frac{|S_{(1)}|}{|S_{(2)}|} \end{aligned} \quad (8)$$

Donde:

$$\circ \quad P_{(i)}, i = 1, 2 \text{ probabilidades a priori}$$

- *Support vector classifier (SVC)*

Este clasificador basado en máquinas de vectores de soporte (SVC), busca un hiperplano que separe los puntos de una clase con otra de la forma más óptima, teniendo en cuenta la característica fundamental, es decir este tipo de algoritmos buscan el hiperplano que tenga la máxima distancia con los puntos que estén más cerca de él mismo, siendo previamente proyectado a un espacio de dimensión superior, además, están estrechamente relacionados con las redes neuronales [16] [17][18] dado que por naturaleza el clasificador SVC es muy funcional en clasificaciones biclase, ha sido implemento puesto que representa una buena opción para el estudio de los registros de EHG.

- *Clasificador de PARZEN*

El clasificador Parzen nace del concepto básico de aprendizaje supervisado no paramétrico basado en la estimación de densidades de probabilidad de Parzen

El objetivo de este clasificador es obtener estimaciones de densidades de probabilidad condicional  $p(z|w_k)$ , el espacio de

medida es patrocinado en un número finito de regiones disyuntas  $R_i$  llamadas cajas y se cuentan las muestras que caen en ellas, siendo la estimación de la densidad de probabilidad dentro de la caja proporcional a tal número, Además  $N_{k,i}$  denota el número de muestras con clase  $W_k$ , en [16] matemáticamente se expresa:

$$\hat{p}(z|w_k) = \frac{N_{k,j}}{\text{volumen}(R_j)*N_k} \quad (9)$$

#### IV. RESULTADOS

Con el fin presentar una comparación que involucre las técnicas anteriormente descritas, en esta sección se presentan los resultados obtenidos de los cuatro clasificadores a la hora de determinar un embarazo con labor a término y pretermiato.

Los resultados presentados en las tablas 2 y 3 indican las medianas del error y desviación estándar respectivamente utilizando técnicas de selección de características *subset*, comparando el método de reducción de dimensión con el tipo de clasificador, Adicionalmente, se realiza la misma comparación en las tablas 4 y 5 con selección de características en *ranking*

De la Tabla 2 se puede decir que la mejor combinación entre método de reducción y tipo de clasificador es PCA con LDC, presentándose el mejor resultado para la mediana del error en 18.75 %, del mismo modo, se puede observar en la tabla 3, que esta combinación arroja el mejor resultado en la desviación estándar para este valor de mediana de error.

Así mismo es importante resaltar que los métodos de reducción de dimensión, contribuyen en medida a reducir el rango del error presentado.

Tabla 2. Medianas del error Método de reducción vs clasificador con *Subset*

MEDIANAS DEL ERROR				
	LDC	QDC	SVC	PARZENC
<b>PCA</b>	<b>18.75</b>	25	25	25
<b>LLE</b>	25	25	25	25
<b>LLTSA</b>	18.75	18.75	18.75	25
<b>SIN METODO</b>	25	25	25	31.25

Tabla 3. Desviación Estándar de Medianas del error Método de reducción vs clasificador con *Subset*

DESVIACION ESTANDAR DE MEDIANAS DEL ERROR				
	LDC	QDC	SVC	PARZENC
<b>PCA</b>	<b>8.12</b>	8.27	8.85	8.50
<b>LLE</b>	9.06	7.83	10.12	8.94
<b>LLTSA</b>	9.00	8.31	9.20	9.60
<b>SIN METODO</b>	9.50	11.89	9.50	10.76

Es importante reconocer que el tipo de selección de características influyó dramáticamente en el resultado final de la clasificación como se puede observar en las tablas 4 y 5 y contrastar con las tablas 2 y 3 respectivamente

Tabla 4. Medianas del error Método de reducción vs clasificador con *Ranking*

	MEDIANAS DEL ERROR			
	LDC	QDC	SVC	PARZENC
<b>PCA</b>	31.25	31.25	31.25	25
<b>LLE</b>	31.25	31.25	37.5	31.25
<b>LLTSA</b>	37.5	31.25	37.5	31.25
<b>SIN METODO</b>	34.37	37.5	31.25	31.25

Tabla 5. Desviación estándar de Medianas del error Método de reducción vs clasificador con *Ranking*

	DESVIACION ESTANDAR DE MEDIANAS DEL ERROR			
	LDC	QDC	SVC	PARZENC
<b>PCA</b>	10.67	10.65	10.79	11.18
<b>LLE</b>	10.04	10.54	10.03	10.48
<b>LLTSA</b>	10.34	9.35	9.91	9.75
<b>SIN METODO</b>	10.49	10.52	10.57	9.69

#### V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El papel que juegan los sistemas de información médica en el campo bioeléctrico son relevantes al momento de analizar un fenómeno médico, que contribuya a la solución de unas condición crítica presentada en una población y más aún como jóvenes investigadores, es importante para nosotros ser parte de dicha solución.

Teniendo en cuenta que el tema de análisis de señales EHG es relativamente nuevo, es esperanzador y a la vez un reto a mejorar, el obtener un resultado de clasificación con respecto a la mediana del error en 18.75 con una desviación estándar de 8.12 % de una investigación en curso, como se pudo observar y algo que surgió de la investigación es la influencia de las técnicas de selección de características en el resultado final, también cabe anotar el desempeño de los métodos de reducción de dimensión y finalmente el tipo de clasificador que en su conjunto operan para dar un mejor resultado, se espera sin embargo reducir el error, valorando técnicas de diezmado en la señal y evaluar también métodos de clasificación no supervisados.

De esta forma se ve la gran necesidad de avanzar en el desarrollo de esta investigación con el fin de contribuir a

menguar los estragos de un embarazo pre-término tanto como a quienes padecen directas consecuencias así como también en la salud emocional de las madres gestantes.

## REFERENCES

- [1] Althabe, F., Carroli, G., Lede, R., Belizán, J. M., & Althabe, O. H. (1999). El parto pretérmino: detección de riesgos y tratamientos preventivos.
- [2] Roura, L. C. (2006). *Parto prematuro*. Ed. Médica Panamericana.
- [3] Ortega Maroto, G. N., & Hinojosa León, Y. A. (2010). Causas del embarazo en las adolescentes y riesgos de complicaciones en el recién nacido en el área de ginecología y obstetricia del Hospital Provincial General Docente Riobamba en el período enero a julio del 2010.
- [4] Fele-Žorž, G., Kavšek, G., Novak-Antolič, Ž., & Jager, F. (2008). A comparison of various linear and non-linear signal processing techniques to separate uterine EMG records of term and pre-term delivery groups. *Medical & biological engineering & computing*, 46(9), 911-922.
- [5] Monteiro, A. V. (2010). *Electrohisterografia dinâmica intra-parto: contribuição para o desenvolvimento de um protótipo* (Doctoral dissertation, Universidade da Beira Interior).
- [6] ALBEROLA RUBIO, J. O. S. É. (2011). Diseño y desarrollo de un sistema para el registro y monitorización de la actividad mioeléctrica uterina.
- [7] Alfonso, J. D. L. M. C. DIAGNÓSTICO DE DIABETES UTILIZANDO LOS ALGORITMOS APRIORI Y J48.
- [8] Martínez, G. R. S., & Mejía, J. A. S. (2011). Árboles de decisiones en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares. *Scientia et Technica*, 3(49),
- [9] Martínez, R. E. B., Ramírez, N. C., Mesa, H. G. A., Suárez, I. R., Trejo, M. D. C. G., León, P. P., & Morales, S. L. B. (2009). Árboles de decisión como herramienta en el diagnóstico médico. *Revista médica de la Universidad Veracruzana*, 9(2), 19-24. 104-109.
- [10] Yousefi, J., & Hamilton-Wright, A. (2014). Characterizing EMG data using machine-learning tools. *Computers in biology and medicine*, 51, 1-13.
- [11] Trujillo Pulgarín, C. A. *Clasificación basada en la estimación de Parzen en espacios generalizados de disimilitudess= Classification based on the Parzen estimation in generalized dissimilarity spaces* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales).
- [12] Gunn, S. R. (1998). Support vector machines for classification and regression. *ISIS technical report*, 14.
- [13] Fernández, F., & María, A. (2013). Análisis de componentes principales.
- [14] Isasi Viñuela, P., & Galván León, I. M. (2004). Redes de neuronas artificiales. *Un Enfoque Práctico*, Editorial Pearson Educación SA Madrid España.
- [15] PAREDES, José; LUZARDO, Ender; BRICEÑO, Hildemaro. A Wavelet based method to characterize electrical insulators under partial discharges. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, 2005, vol. 28, no 2.
- [16] Van Der Heijden, F., Duin, R., De Ridder, D., & Tax, D. M. (2005). *Classification, parameter estimation and state estimation: an engineering approach using MATLAB*. John Wiley & Sons.
- [17] DUDA, Richard O.; HART, Peter E.; STORK, David G. *Pattern classification*. John Wiley & Sons, 2012.
- [18] Pekalska, Elzbieta, and Robert PW Duin. "Foundations and Applications." (2005).

# Estudio comparativo de métodos espectrales para reducción de la dimensionalidad: LDA versus PCA

Comparative study between spectral methods for dimension reduction  
LDA versus PCA

**Andrés J. Anaya-Isaza**  
**Diego H. Peluffo-Ordoñez**  
**Juan C. Alvarado-Pérez**  
 Universidad Surcolombiana,  
 Universidad Tecnológica de Pereira  
 Universidad Técnica del Norte,  
 Ibarra, Ecuador  
 Corporación Universitaria Autónoma  
 de Nariño Pasto, Colombia  
[andres.anaya@usco.edu.co](mailto:andres.anaya@usco.edu.co)  
[dhpeluffo@utn.edu.ec](mailto:dhpeluffo@utn.edu.ec)  
[jcalvarado@usal.es](mailto:jcalvarado@usal.es)

**Jorge Ivan-Rios**  
**Juan A. Castro-Silva**  
**Paul D. Rosero-Montalvo**  
 Universidad Tecnológica de Pereira  
 Universidad Surcolombiana de  
 Pereira - Risaralda y Neiva-Huila,  
 Colombia  
 Universidad Técnica del Norte,  
 Ibarra, Ecuador  
[juancasi@usco.edu.co](mailto:juancasi@usco.edu.co)  
[jrios@utp.edu.co](mailto:jrios@utp.edu.co)  
[pdrosero@utn.edu.ec](mailto:pdrosero@utn.edu.ec)

**Diego F. Peña-Unigarro**  
**Jose A. Salazar-Castro**  
**Juan C. Umaquinga-Criollo**  
 Universidad de Nariño-Pasto  
 Colombia  
 Universidad Nacional de Colombia  
 sede-Manizales Colombia  
 Universidad Técnica del Norte,  
 Ibarra, Ecuador  
[diferpun@gmail.com](mailto:diferpun@gmail.com)  
[alejo26st@udenar.edu.co](mailto:alejo26st@udenar.edu.co)  
[anacristinaucr@gmail.com](mailto:anacristinaucr@gmail.com)

**Resumen—** Este trabajo presenta un estudio comparativo con métodos de reducción de la dimensión lineal, tales como: Análisis de Componentes Principales & Análisis Discriminante Lineal. El estudio pretende determinar, bajo criterios de objetividad, cuál de estas técnicas obtiene el mejor resultado de separabilidad entre clases. Para la validación experimental se utilizan dos bases de datos, del repositorio científico (UC Irvine Machine Learning Repository), para dar tratamiento a los atributos del data-set en función de confirmar visualmente la calidad de los resultados obtenidos. Las inmersiones obtenidas son analizadas, para realizar una comparación de resultados del embedamiento representados con RNX(K), que permite evaluar el área bajo la curva, del cual asume una mejor representación en una topología global o local que posteriormente genera los gráficos de visualización en un espacio de menor dimensión, para observar la separabilidad entre clases conservando la estructura global de los datos.

**Palabras clave—** Análisis de componentes principales, Análisis discriminante lineal, Aprendizaje de máquina, Clasificación lineal, Clasificación supervisada, Métodos de reducción de la dimensión.

**Abstract—** This paper presents a comparative study with methods of reducing the linear dimension, such as Principal Component Analysis & linear discriminant analysis. The study aims to determine, based on criteria of objectivity, which of these techniques get the best result of separability between classes. For experimental validation two databases, scientific repository (UC Irvine Machine Learning Repository) are used to provide treatment to the attributes of the data-set according to visually confirm the quality of the results. The dives obtained are analyzed, for comparison of results embedamiento represented with RNX (K), which evaluates the area under the curve, which assumes better representation in a local global topology or subsequently generates graphics display a space of smaller dimension, to

observe the class separability preserving the overall structure of the data.

**Keywords —** Principal component analysis, linear discriminant analysis, machine learning, linear classification, supervised classification, methods for dimensionality reduction.

## I. INTRODUCCIÓN

El término reducción de la dimensión (RD), es el proceso de representar una proyección de muestras, a un espacio de poca dimensionalidad proveniente de una alta dimensión de datos, el cual promete preservar la mayor información intrínseca de las muestras originales [1], esta nueva proyección en caso de satisfacer la tarea de compactar la información conservando la mayor parte de estos datos, conviene en labores de aprendizaje supervisado, que concede realizar tareas de clasificación y visualización [2], donde cada muestra posee etiquetas como elementos descriptivos que representan las diferentes clases, Análisis discriminante lineal bajo el criterio de Fisher (LDA) [3] pertenece al conjunto de métodos más usados de la literatura de RD. Este método busca que las muestras para cada uno de los datos que siguen patrones de distribución gaussianas, obtengan resultados que comprometa una transformación embebida para garantizar la máxima dispersión entre clases para reducir a su mínimo posible la dispersión interna de cada clase [3]. Análisis de componentes principales (PCA) es el segundo método a confrontar, siendo popular para tareas de reducción de la dimensión, así como también en tareas como

aprendizaje de máquina y reconocimiento de patrones. Este método especialmente obtiene buenos resultados en selección y extracción de características, de igual manera que (LDA) [4], PCA se caracteriza por proyectar una transformación lineal que expresa un nuevo sistema de vectores ortonormales, el cual describe el conjunto original de datos, este proceso consta de maximizar la varianza para capturar el mayor número de muestras del conjunto de información y almacenarlos en nuevos ejes, donde el primer componente principal, es aquel eje de mayor varianza, el segundo componente principal posee la segunda varianza más grande, y así sucesivamente [5].

El problema a tratar de este trabajo es la comparación cuantitativa de dos métodos espectrales para la reducción de la dimensión tales como: (LDA) & (PCA), mediante la proyección de los datos finales dada en la transformación de la información de cada uno de estos, resolviendo el clásico problema de valores propios para la matrices del proceso a reducir y saber que método realiza mejor su trabajo para tareas de clasificación y compresión de datos [6]. Para comparar los métodos de reducción de la dimensión, se utiliza dos bases de datos del repositorio científico UCI – Machine Learning, con características en sus variables de tipo discreto y continuo, de dimensión inicial 13 para el primer conjunto de datos y de dimensión inicial 9 para el segundo. Posteriormente se aplican cada uno de los algoritmos mediante la implementación del toolbox, Reduction Dimensionality for MatLAB [7], por medio de la herramienta científica MATLAB [8].

En la siguiente sesión se (Base Teórica), se profundiza sobre el proceso del desarrollo para estos dos métodos (LDA) & (PCA), para comprender su funcionamiento desde la teoría, el cual conlleva a sus posteriores implementaciones para cada uno de los conjuntos de datos a tratar.

## II. BASE TEÓRICA

### A) PCA o Principal Component Analysis (PCA)

PCA o Principal Component Analysis, es un método espectral de análisis multivariado, basado en correlaciones entre variables, mediante un proceso estocástico que satisface la reducción de dimensiones, realizando una transformación lineal de las variables iniciales, para proyectar vectores propios ortonormales denominados componentes principales [9].

Se tiene un conjunto de datos, el cual se denomina  $\mathbf{F}$ . Se saca el promedio de  $\mathbf{F}$  y se resta para cada coeficiente, en el conjunto de entrenamiento  $\mathbf{F}$ . Obteniendo el conjunto de datos:

$$1) \quad \mathbf{F} = \mathbf{F} - \mathbf{\bar{F}}$$

Posteriormente se crea una matriz que podemos llamar  $\mathbf{S}$  tal que, cada uno de los elementos de la columna serán datos de

muestra  $\mathbf{S}^T \mathbf{S}$ , la matriz de nuestro conjunto de datos que representa la matriz de covarianza, para poder determinar los nuevos ejes o vectores ortonormales que componen los componentes principales inmersos en la matriz de covarianza [10], se desarrollan de la siguiente manera:

$$2) \quad \mathbf{S} = \mathbf{L} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{L}^T$$

$\mathbf{A}$  es la matriz diagonal de valores propios y  $\mathbf{L}$  es la matriz de vectores propios ortonormales.

El resultado de  $\mathbf{S}$  es un nuevo vector o matriz, que transforma la base para conseguir nuevos vectores el cual rotan de posición a sus ejes antecesores para ser almacenados en los vectores propios, donde el primer componente principal, es aquel eje de mayor varianza, el segundo componente principal posee la segunda varianza más grande, y así sucesivamente. Se esperan que en la menor cantidad de ejes se recoja toda la información [11].

### B) Linear Discriminant Analysis (LDA)

Análisis discriminante lineal bajo el criterio de Fisher, este método busca las muestras que sigan patrones de distribución gaussianas para un buen funcionamiento. Dentro de sus aplicaciones más usadas en la literatura, se recomienda para tareas de aprendizaje supervisado & clasificación de clases, ya que proyecta los datos a una baja dimensión en comparación de los datos originales, pero garantiza la máxima dispersión entre las clases para reducir a su mínimo posible la dispersión interna de cada clase [3]. La tarea es proyectar el conjunto de datos a una baja dimensión mediante un vector  $\mathbf{S}$  que pueda garantizar el máximo en dispersión o separación de las clases [1] [11]. Se tiene  $\mathbf{T}_1, \dots, \mathbf{T}_k$  tuplas d-dimensionales que se etiquetan en  $C$  clases. Cada una de estas clases tiene  $\mathbf{O}_j$  tuplas. El vector  $\mathbf{S}$  requiere, para encontrar  $\mathbf{U}_j \mathbf{L} \mathbf{S}^T \mathbf{T}_j$  estas serán las proyecciones en baja dimensión de cada una de las tuplas.

Fisher-LDA en términos de optimización, pretende maximizar la función objetivo  $\mathbf{w}^T \mathbf{S} \mathbf{w}$ , que se puede escribir de la siguiente manera:

$$3) \quad \text{F.O. Max. } \mathbf{w}^T \mathbf{S} \mathbf{w}$$

$\mathbf{S}$  es la matriz que garantiza la dispersión entre cada una de las clases,  $\mathbf{D}$  es la matriz que posee la dispersión inmersa en cada una de las clases a proyectar. También se puede notar de la siguiente forma:

$$4) \quad \mathbf{S} = \mathbf{D} - \mathbf{C} \mathbf{C}^T$$

$$5) \quad \mathbf{D} = \sum_{j=1}^C \mathbf{C}_j \mathbf{C}_j^T$$

$\mathbf{C}_j$  es la media para cada una de las clases,  $\mathbf{C}$  es la media de todos los datos,  $C$  la cantidad de tuplas que pertenecen a la clase  $j$ . Fisher-LDA busca proyectar el vector  $\mathbf{w}$  que pueda maximizar el "cociente" entre la base de la matriz de dispersión inter-clase y la matriz de dispersión intra-clase.

Cuando  $S$  maximice la función objetivo tiene que satisfacer la siguiente condición:

$$6) \quad S \ L \ \tilde{=} \ S$$

Si  $S$  es no singular se puede desarrollar con las operaciones de valores propios para la matriz  $S^T S$ :

$$7) \quad S^T S \ L \ \tilde{=} \ S$$

Se sustituye el resultado para obtener el nuevo  $:S$ :

$$8) \quad :S; \ L \ \tilde{=} \ \frac{\hat{A}_{1,3}}{\hat{A}_{1,1}} \ L \ \tilde{=} \ \frac{\hat{A}_{1,3} \ \hat{A}_{2,3}}{\hat{A}_{1,1} \ \hat{A}_{2,1}} \ L \ \tilde{=} \ ? \ K \otimes L \ \tilde{=} \ ?$$

Del cual se tiene un  $S$ , vector propio  $G$  de valor propio  $\lambda_p$ . Esto indica que para maximizar la función objetivo de la solución, se debe tener un vector propio asociado a mayor valor propio.

### III. MATERIALES & METODOS

Este trabajo analiza un conjunto de datos del repositorio UCI – Machine Learning Repository, esta matriz posee 100 registros y 13 atributos de naturaleza multivariante [12], se recomienda para tareas de clasificación por la naturaleza de los datos de tipo discreto. Esta base de datos cuenta con los resultados de un análisis químico de 100 vinos cultivados en la misma región en Italia, pero derivadas de tres cultivares diferentes [12]. El análisis determina las cantidades de 13 componentes que se encuentran en cada uno de los tres tipos de vinos, como se muestra en la siguiente tabla:

Data set Characteristics:	Multivariate
Attribute Characteristics:	Integer, Real
Associated Tasks:	Classification
Number of Instances:	178
Number of Attributes:	13
Missing Values?	No
Area:	Physical
Date Donated	1/07/1991
Number of Web Hits:	577701

Tabla 1. Caracterización de datos, Wine-DataSet

En la Tabla 1. Se tiene una matriz de datos donde se caracteriza los elementos del data-set, tales como atributos, tarea asociada, numero de instancias, numero de atributos, perdida de datos, área de aplicación, fecha y número de visitas en la web. Los datos se representan con elementos en cada fila como una muestra (vino) y cada columna una variable medida. Notar que las variables medidas pueden ser de tipos distintos:

- **Instrumentales:** absorbancia en el infrarrojo, relación masa/carga en un espectro de masas...
- **Físicas:** densidad, índice de color...
- **Químicas:** concentración de cada compuesto o un índice global (por ejemplo acidez total o contenido en polifenoles)
- **Organolépticas:** tipos e intensidad de ciertos aromas o tipos e intensidad de sensaciones gustativas (generalmente se trata de medidas semicuantitativas basadas en escalas predefinidas)

De esta manera tenemos la matriz de datos representada en el espacio original o de alta dimensión de la siguiente manera:

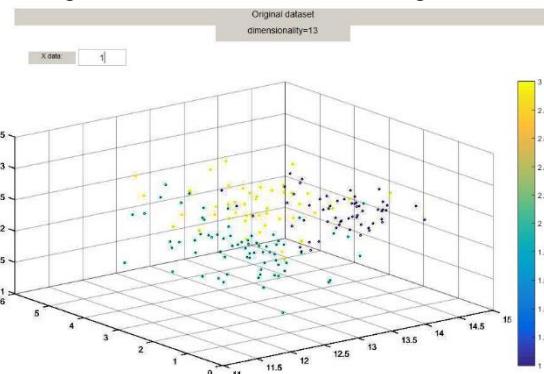


Figura 1. Matriz de datos de 13 dimensiones, con 100 registros, distribuidos en 3 clases que se muestran en colores diferentes.

En la Figura 1. Se observa cada vino se ubica en el grafico como punto en un espacio de trece dimensiones. Es decir, su representación requiere trece ejes, el cual es imposible de visualizar. La tarea a seguir es, reducir la dimensión dada por los 13 atributos que componen el conjunto de datos y representarlos, en un espacio de menor dimensión para conservar sus propiedades y describir los elementos, con el mínimo de perdida [13].

La solución para comprimir estos trece atributos a un espacio de menor dimensión es, caracterizando cada vino con menor número de atributos para conservar la información relevante de cada elemento, tal como se muestra en la figura 3. [13]

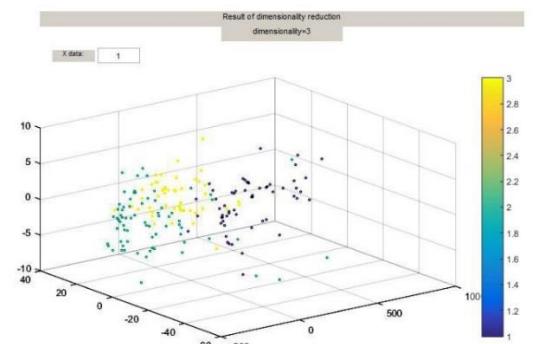


Figura 2. PCA reducción a espacio en 3 dimensiones.

En la Figura 2. se aprecia la reducción de la dimensión teniendo como base un espacio original de 13 dimensiones, a un espacio de 3 dimensiones que contiene la información que mejor describe los elementos del conjunto de datos, conservando la máxima varianza entre sus dos vectores propios.

MUESTRA	Var 1	Var 2	Var 3	Scores PC1	Scores PC2	Scores PC3
1	1.71	3.06	5.64	0.10	0.33	0.01
2	1.78	2.76	4.38	1.39	0.38	0.01
3	2.36	3.24	5.68	0.08	-0.33	-0.14
4	1.95	3.49	7.80	-2.07	-0.13	0.09
5	2.59	2.69	4.32	1.55	-0.41	0.08
6	1.76	3.39	6.75	-1.05	0.16	-0.05

Tabla 2. Valores de 3 variables o atributos para 6 vinos y scores de los 3 PC (Componentes Principales) calculados.

En la Tabla 2 muestra los valores de 3 atributos de 6 vinos de la Figura 2. Cada muestra está caracterizada por los valores medidos de estas variables. Se asignan cada variable a un eje de coordenadas obtenemos la representación de la Figura 3.

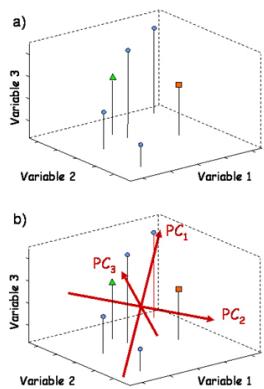
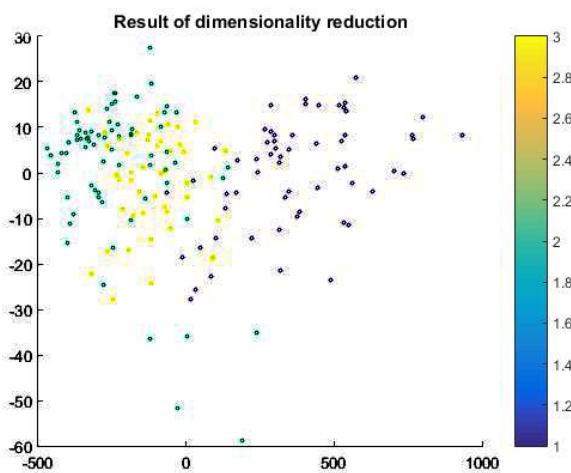


Figura 3.

- a) Representación de los datos en el espacio tridimensional.
- b) Los nuevos ejes (componentes principales, PC) son una rotación y traslación (los datos se centran previamente) de los ejes originales



En la Figura 4. se aprecia la reducción de la dimensión teniendo como base un espacio original de 13 dimensiones, a un espacio final de 2 dimensiones que contiene la información que mejor describe los elementos del conjunto de datos, conservando la máxima varianza entre sus dos vectores propios.

En análisis discriminante lineal (LDA), se busca una variable  $\mathbf{U}$  combinación lineal de las variables observadas  $\mathbf{U} = \mathbf{L}^T \mathbf{F}$  que muestre las mayores diferencias entre las medias de los grupos de forma que nos permita la clasificación de uno de ellos con la máxima resolución posible [14] [13]. La media de los valores de la nueva variable para cada grupo es

$$9) \quad \mathbf{U} = \mathbf{L}^T \mathbf{F} = \mathbf{L}^T \mathbf{F} = \mathbf{L}^T \mathbf{F} = \mathbf{L}^T \mathbf{F}$$

Se trata, por tanto, hacer máximo  $\mathbf{U}^T \mathbf{U}$ , sujeto a la restricción  $\mathbf{U}^T \mathbf{U} = 1$  para evitar las intermedias en los coeficientes producidos por la indeterminación en la escala de la variable combinada. La restricción significa que la variabilidad dentro de los grupos en la nueva variable es la unidad.

La solución viene dada por

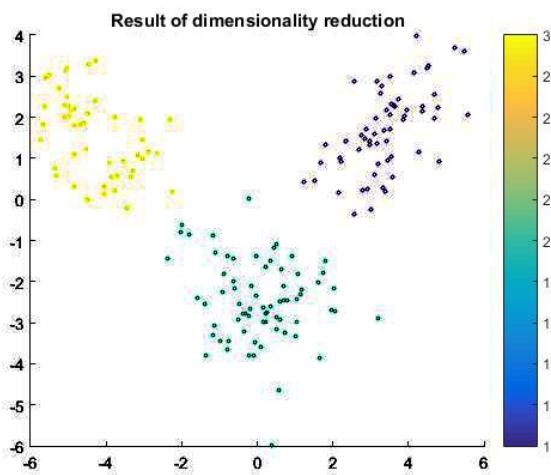
$$10) \quad \mathbf{U} = \mathbf{L}^T \mathbf{F}$$

Y la función discriminante lineal es:

$$11) \quad \mathbf{U} = \mathbf{L}^T \mathbf{F}$$

Se calcula calcular una combinación lineal de las 13 variables para este caso con la base de datos de vinos, para este proceso tomamos un coeficiente por cada variable o atributo y desarrollamos la sumatoria para todos los elementos posteriores. [15].

El proceso busca la transformación lineal que produce la máxima separación entre clases, para ello se calcula una nueva variable llamada discriminante, esta variable es la encargada de realizar el proceso de separación entre grupos. Posteriormente se calculan las medias de los diferentes grupos y la media del resultado entre estos, para obtener el punto de corte que será nuestra regla de decisión, que permite visualizar la clasificación de cada uno de los vinos en su respectivas poblaciones [16].



**Figura 5.** LDA reducción de 13 dimensiones a un espacio de 2 dimensiones

En la Figura 5. Se aprecia la reducción de la dimensión teniendo como base un espacio original de 13 dimensiones, a un espacio final de 2 dimensiones que contiene la información con la máxima separabilidad entre clases.

MUESTRAS PARA ESPACIO EN 2D	Var 1	Var 2	CombLine1	CombLine2
1	1.71	3.06	0.08	0.12
2	1.78	2.76	1.02	0.23
3	2.36	3.24	0.01	-0.13
4	1.95	3.49	-3.04	-0.19
5	2.59	2.69	0.98	-0.56
6	1.76	3.39	-0.02	1.05

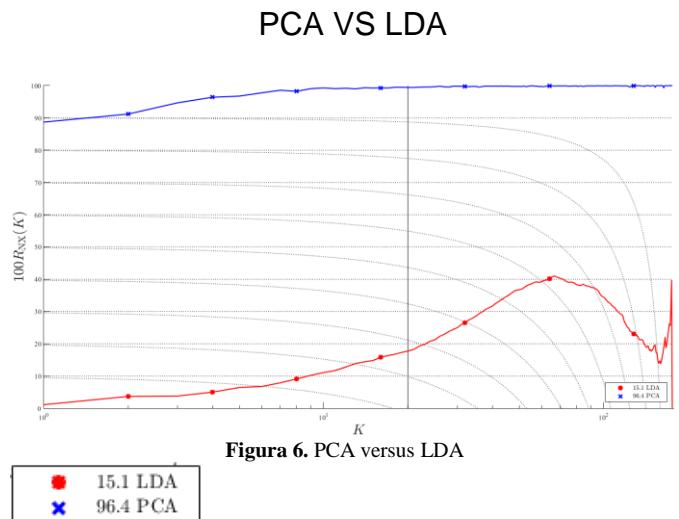
**Tabla 3.** Valores de 2 variables o atributos para 2 Combinaciones lineales calculadas.

La Tabla 3 muestra los valores de 2 variables de 6 vinos de la Figura 5. Cada muestra está caracterizada por los valores medidos de estas variables.

La reducción con este método permite llevar un espacio de alta dimensión a un espacio de baja dimensionalidad, además de clasificar los datos linealmente separables. Se observa que hay pequeñas diferencias respecto a la tabla de valores de las matrices ya reducidas, del método Análisis de Componentes Principales, donde algunos valores muestra una tendencia a comprimir mejor los datos PCA, pero gráficamente no cumple con la tarea de separar las clases linealmente como LDA [10].

### Comparación mediante Curvas de Calidad

Se analizan las curvas de calidad, del cual se toman las muestras de las matrices reducidas, utilizando una comparación de resultados del embedamiento representados con RNX(K), que permite evaluar el área bajo la curva, tanto del lado derecho como del izquierdo, es decir cuando se asume que tiene una mejor representación en una topología global o local.



**Figura 6.** PCA versus LDA

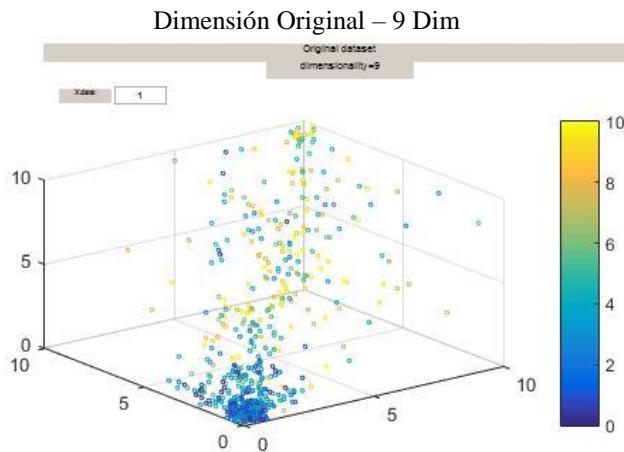
La Figura 6. Muestra el método Análisis de Componentes Principales, del cual tiene una curva que se proyecta 9 unidades del eje y sobre Lineal Análisis Discriminante. Esto indica que la calidad de reducción de las 13 dimensiones con los 100 individuos y 3 poblaciones se comporta mejor para el método espectral PCA para compresión de datos, se aclara que este método no tuvo un buen rendimiento en separación de clases.

La segunda base de datos a evaluar es: cáncer de mama – breast cancer.

Data set Characteristics:	Multivariate
Attribute Characteristics:	Categorical
Associated Tasks:	Classification
Number of Instances:	286
Number of Attributes:	9
Missing Values?	Yes
Area:	Life
Date Donated	11/07/1988
Number of Web Hits:	196504

**Tabla 4.** De caracterización de datos, Breast Cancer-DataSet

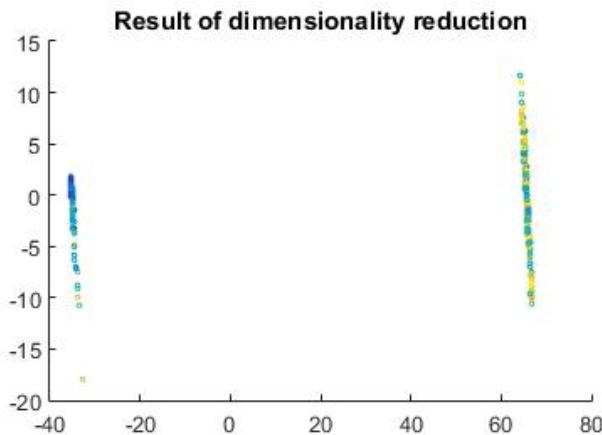
La base de datos, cáncer de mama posee 9 dimensiones representadas en atributos, la característica de estos atributos es categórico multivariado, el número de instancias o individuos que presenta este dataset es 286, con pérdida de valores confirmada según la tabla de caracterización de la base de datos. Los criterios de análisis para estos datos son curvas de calidad, tomando muestras de las matrices reducidas, para realizar una comparación de resultados del embedamiento representados con RNX(K), que permite evaluar el área bajo la curva, del cual asume una mejor representación en una topología global o local.



**Figura 7.** Breast Cancer – DataSet en alta dimensión.

La Figura 7. Muestra los datos representado del espacio original que posee 9 dimensiones o atributos de un hiper plano, el cual se aplicara el proceso de reducción de la dimensión con los métodos LDA y PCA.

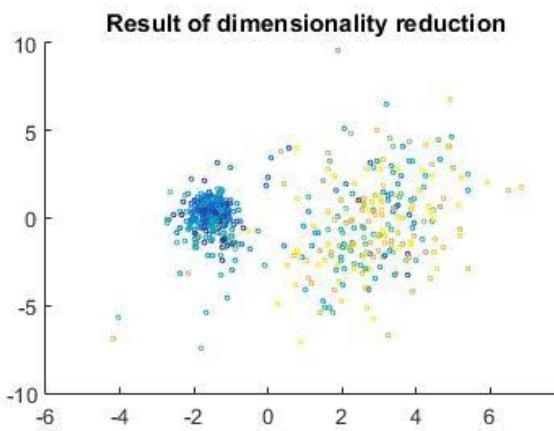
A continuación el desarrollo de PCA para el conjunto de datos. Reducción de la dimensionalidad con Análisis de componentes principales (PCA), de 9 dimensiones a una dimensión en 2D.



**Figura 8.** Breast Cancer – DataSet reducción de la dimensionalidad de 9 dimensiones a 2 dimensiones.

En la Figura 8. Se presenta la reducción de la dimensionalidad con Análisis discriminante lineal (LDA), de 9 dimensiones a una dimensión en 2D.

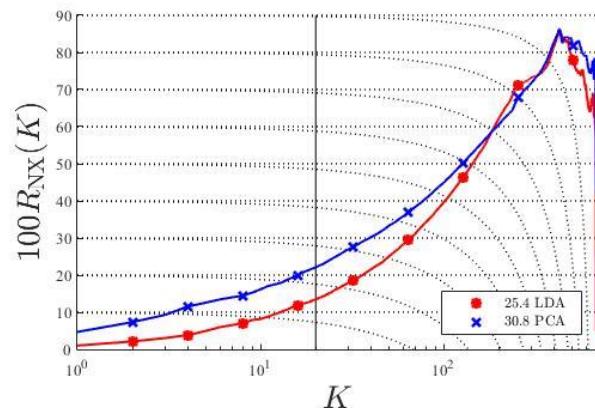
Debido a la naturaleza de los datos se observa que la agrupación natural de las clases conforma la topología de dos grupos que están separados de tal modo, que invitan a pensar si existe una relación lineal dependiente tal cual se muestra en la distribución de las clases en la figura 8, esto por el patrón visual que conformaron las clases en el desarrollo de la reducción de la dimensión.



**Figura 9.** Breast Cancer – DataSet reducción de la dimensionalidad de 9 dimensiones a 2 dimensiones.

La Figura 9. Muestra los datos representado del espacio procesado a una dimensión menor que posee 2 dimensiones o atributos de un hiper plano, se puede concluir visualmente que los resultados para la tarea fundamental de este trabajo que es; “saber que método separa mejor las clases” es LDA.

## PCA VS LDA



**Figura 10.** PCA versus LDA – Breast Cancer DataSet

En la Figura. 10 muestra que el método Análisis de Componentes Principales tiene una curva que se proyecta desde un valor cercano a Lineal Análisis Discriminante. Esto indica que la calidad de la reducción de las 9 dimensiones con los 569 individuos en 2 poblaciones se comporta mejor para el método PCA, pero visualmente el método LDA representa un mejor agrupamiento de los datos el cual permite claramente identificar los individuos pertenecientes a cada clase.

## IV. CONCLUSIONES

Se concluye que Análisis Discriminante Lineal bajo el criterio de Fisher, dentro de su topología y modelo discriminante, obtiene resultados notoriamente efectivos en separabilidad intra clases, su fortaleza radica en proyectar un buen

desempeño en tareas de reducción de dimensión conservando la separabilidad entre clases como se aprecia en las gráficas de las figuras 6 y 10. LDA no posee un buen rendimiento en tareas de compresión como PCA [17], porque LDA desarrolla un proceso diferente el cual busca seguir patrones de distribución gaussianas para un buen funcionamiento, que garantice una transformación intra-clases para hallar la máxima dispersión entre cada clase y a su vez, reducir a su mínimo posible la dispersión interna de cada clase.

LDA tiene un mejor rendimiento en tareas de clasificación gracias al punto de corte del modelo discriminante que proyecta una robusta regla de decisión.

PCA posee un mejor desempeño que LDA en tareas de compresión de datos, sin embargo no es eficiente realizando tareas de separación entre clases [17], este método se caracteriza por realizar una combinación lineal, el cual proyecta los datos, sin perder todas sus propiedades para describirlos en un espacio de baja de dimensión.

## V. DISCUSIONES - TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros es necesario evaluar otros aspectos relevantes que conciernen a la temática de los algoritmos, ya que es necesario medir sus performance en complejidades en tiempo en ejecución, con datos masivos de fuentes, estructuradas y no estructuradas, en aras de establecer un acercamiento real con el entorno creciente de la IoT así como también en entornos BigData ya que a día de hoy son tendencias que promueven el ejercicio de la reducción de la dimensionalidad en pro de la eficiencia.

Dentro del contexto del estado de la técnica, es pertinente realizar una búsqueda de los nuevos métodos de reducción de la dimensión, en aras de dar información valiosa y relevante acerca de las tareas del mundo de hoy, ya que en datos masivos es una necesidad latente dar tratamiento especial para reducir el costo computacional así como también saber cuál será el más efectivo en tareas de alto performance en datos estructurados y no estructurados. El testing en complejidades de tiempo en ejecución sería un buen contraste para medir rendimiento y capacidad del algoritmo.

## VI. REFERENCIAS

- [1] P. Niyogi, "Laplacian eigenmaps for dimensionality reduction and data representation", Neural computation, vol. 15, April 2003.
- [2] J. Valencia-Aguirre, "Comparación de Métodos de Reducción de Dimensión Basados en Análisis por Localidades", Tecno Lógicas No. 25, May 2010.
- [3] Masashi Sugiyama, "Semi-supervised local Fisher discriminant analysis for dimensionality reduction", Machine Learning is an international forum for research on computational approaches to learning - Springer, June 2010.
- [4] M. Mauricio Delbracio, "Trabajo Final de Reconocimiento de Patrones Identificación utilizando PCA, ICA y LDA", Grupo de tratamiento de señales de la Universidad de la Republica - Instituto de Ingeniería Electrica, Montevideo - Uruguay, September 2006.
- [5] P. J. Husson François, "Exploratory Multivariate Analysis by Example Using R.", London, Chapman & Hall/CRC The R Series, p. 224p October 2009.
- [6] D. H. Peluffo-Ordóñez, "On the Relationship Between Dimensionality Reduction and Spectral Clustering from a Kernel Viewpoint", Distributed Computing and Artificial Intelligence, 13th International Conference - Springer, June 2016.
- [7] L. V. MAATEN, "Matlab Toolbox for Dimensionality Reduction", [En línea]. Available: <https://lvdmaaten.github.io/drtoolbox/>, January 2016.
- [8] MatLab, "MathWorks Software Theoretic FrameWork Dimensional Reduction", [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab/>, August 2016.
- [9] D. H. Peluffo-Ordóñez, "Short review of dimensionality reduction methods based on stochastic neighbor embedding", Advances in Self-Organizing Maps and Learning Vector Quantization, November 2014.
- [10] G. M. Pimentel, "De la visualización a la sensorización de información", Blucher Design Proceedings, May 2013.
- [11] H. B. Ramires, "Descubrimiento de conocimiento en bases de datos: La perspectiva de la visualización inteligente de la información.", March 2014.
- [12] A. Inselberg, "Multimensional Detective", Information Visualization, February 2007.
- [13] UCI - Repository of Machine Learning for scientific data sets, University Wisconsin, "<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer>".
- [14] Y. Aliyari Ghassabeh, F. Rudzicz and H. A. Moghaddam, "LDA models", September 2010.
- [15] G. J. McLachlan, Fisher R.A, July 2004.
- [16] D. A. Keim, "Visual Database Exploration Techniques", Exploring Databases, vol. 7, March 2007.
- [17] W. S. Cleveland, "Visualizing Data", Hobart Press, June 1993.
- [18] A. I. and B. Dimsdale, "Parallel Coordinates: A Tool for Visualizing Multidimensional Geometry", IEEE Visualization, October 2010.
- [19] A. Inselberg, "The Plane with Parallel Coordinates", The Visual Computer, April 1985.
- [20] P. E. Hoffman, "Table Visualizations: A Formal model and Its Applications", University of Massachusetts, February 2012.
- [21] H. P. Kriegel, "VisDB: Database Exploration Using Multidimensional Visualization", Computer Graphics and Applications, March 1994.
- [22] C. A. Wistrand, "An Information Visualization and Exploration Environment", Int'l Symp, October 1995.
- [23] H. P. Kriegel, "Visualization Techniques for Mining Large Databases: A comparison", IEEE Trans. Knowledge and Data Eng., pp. 923-936, April 1996.
- [24] D. Lalanne, "Surveying the complementary role of automatic data analysis and visualization in knowledge discovery", November 2013.
- [25] UCI Machine Learning Repository, breast cancer University Wisconsin "<https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer>".
- [26] J. Shlens. A, Principal Component Analysis a probabilistic models, arXiv preprint arXiv:1404.1100, April 2014.

[27] D. Kusnetzky, "What is Big Data?.Book Fundamentals Concepts ZDNet.", [En línea].Available:<Http://blogs.zdnet.com/virtualization/?p=178>, June 2013.

[28] P. Niyogi, "Laplacian Eigenmaps for Dimensionality Reduction and Data Representation", Neural Computation, MIT Press Journals, pp. Pages 1373-1396, June 2006.

# Automatic identification of a playing card through kNN using a Raspberry Pi 3

Juan Daniel Estévez, Holger Ortega y Rodrigo Tufiño

Grupo de Investigación IDEIAGEOCA

Universidad Politécnica Salesiana

Quito - Ecuador

jestevez@est.ups.edu.ec; {hortega, rtufino}@ups.edu.ec

**Abstract**— This academic work has the main objective to develop a system for automatic recognition of an English playing card located on a table using computer vision techniques for capturing, preprocessing, and segmenting the image independently of the orientation and the depression angle. The algorithm used as a classifier to recognize the card is k-nearest neighbor (kNN). At training stage, a set based on a list of alphanumeric characters was used. The result of the classification was sent to an audio output using a converter from text to voice. This algorithm was implemented in an embedded system Raspberry Pi 3 under the operative system Raspbian Jessie. The system developed has an accuracy of 95% and an average wait-response of 5 seconds taking into account the audio playing.

**Keywords**— Automatic recognition, Artificial vision, k-nearest neighbors, OpenCV, Raspberry Pi 3, Playing Cards.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas embebidos actualmente se encuentran en la fase de producción con nuevas y mejores características disponibles a un precio módico, por ejemplo Raspberry Pi 3. Las aplicaciones científicas y de investigación son innumerables y la mayoría se han inclinado hacia el área de la mecatrónica con sus derivadas. El presente trabajo consiste en una aplicación de dicho dispositivo en el campo de la inteligencia artificial, puntualmente en la visión por computadora, para realizar las cinco fases del procesamiento de imágenes descritas en la Figura 1 [1], [2].

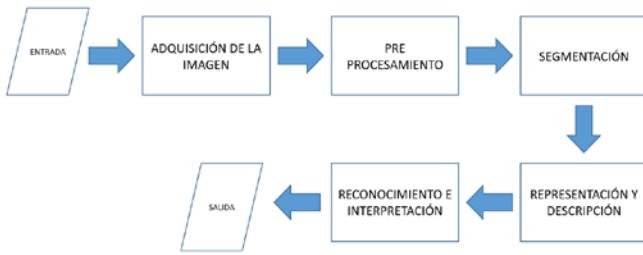


Figura 1. Etapas del procesamiento digital de imágenes.

En el proceso de adquisición de imagen se disciernen dos etapas: la primera se conoce como captura y consiste en utilizar un dispositivo óptico para obtener información relativa a una escena o entorno deseado; la segunda se conoce como

digitalización, y consiste en transformar una señal con uno o varios componentes continuos en una imagen digital [3].

La siguiente fase es conocida como segmentación, consiste en aislar las áreas de interés de una escena para interpretarlas. A menudo es necesario refinar esta etapa debido al ruido y al desenfoque que se presenta en la imagen, para lo cual se utilizan diferentes técnicas como: umbralizaciones, agrupación por rasgos comunes, detección de líneas, crecimiento de región y extracción de bordes.

La fase de representación y descripción es conocida como extracción de características. En esta fase, la imagen es convertida en un vector que contiene la información más relevante de la misma para el problema. Dado que la representación y descripción son a menudo desconocidas a priori, generalmente se introducen varias características candidatas para intentar representar de una manera adecuada las clases, aun cuando puedan ser redundantes o irrelevantes. Los datos extraídos recogen las características o los rasgos diferenciadores de la imagen analizada.

Cabe mencionar que no siempre las cinco fases siguen un orden secuencial lineal, sino que puede ser necesario volver a una etapa anterior, por ejemplo a la etapa de segmentación si la etapa de reconocimiento ha fallado, o incluso a la adquisición de la imagen si fuese necesario.

En el reconocimiento e interpretación se utilizan técnicas de reconocimiento geométrico de objetos. El problema fundamental de las técnicas de reconocimiento radica en su comportamiento en sistemas específicos, lo que dificulta la selección del método. Además, en este trabajo se utiliza un sistema embebido de bajas prestaciones, por lo que se debe considerar las capacidades de procesamiento y memoria.

La investigación de trabajos previos llevó a la elección del clasificador de aprendizaje supervisado k-vecinos más cercanos (kNN) por su procesamiento, rendimiento, precisión, uso de memoria RAM, tiempo de respuesta, tiempo de búsqueda y entrenamiento del algoritmo [3], [5]–[7].

El método de k-vecinos más cercanos es un algoritmo de clasificación. El conjunto de entrenamiento consta del vector de características  $x_j$ , más una variable de atributo que es la clase, denominada  $C_j$ , para cada uno de los ejemplos. El objetivo de la clasificación es encontrar un modelo para

predecir la clase a la que pertenece un vector de características nuevo [8].

## II. DESARROLLO

La primera etapa del desarrollo del sistema corresponde a la investigación exploratoria de las características y capacidades del hardware y sistema operativo con respecto a la Raspberry Pi 3 analizando proyectos técnicos, artículos científicos, tesis y libros para soportar la adquisición de imagen. La segunda etapa pertenece al desarrollo del sistema de reconocimiento de imágenes, respondiendo a los requisitos levantados en la primera etapa. En la Figura 2 se puede apreciar el funcionamiento del prototipo desarrollado.



Figura 1. Sistema automático de reconocimiento de cartas

### A. Raspberry Pi 3

El sistema embebido Raspberry Pi 3 modelo B es una computadora de placa reducida como lo muestra la Figura 3. Las características principales son las siguientes:

- Procesador: Broadcom BCM2387 chipset 1.2 GHz Quad-Core ARM Cortex-A53
- GPU: Dual Core VideoCore IV Multimedia Co-Procesador proporciona OpenGL Es 2.0
- Memoria: 1 GB LPDDR2
- Energía: Micro USB socket 5V, 2.5A

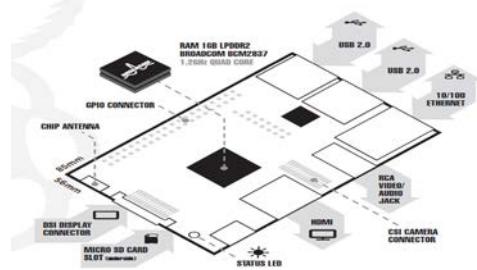


Figura 3. Características de Raspberry Pi 3 modelo B [9].

El sistema operativo utilizado es Linux bajo su distribución Raspbian Kernel 4.4 almacenado en una memoria MicroSD de

16 GB y 10 MB/s de velocidad de transferencia. Raspbian Jessie es la distribución open source más completa y estable, que aprovecha el mayor rendimiento del hardware [9]. El sistema operativo es una distro basada en Debian, soporta el lenguaje de programación Python 2.7 y 3.1 y la librería de visión artificial OpenCV 2.4 y 3.1.

La bibliografía sobre el Raspberry Pi muestra una gran cantidad de aplicaciones, aunque muy pocas en el campo de la visión artificial [10]–[13].

### B. Dispositivo Óptico

Para la presente investigación se utilizó una cámara con las siguientes características:

- Resolución: CMOS color sensor 5 MP 3200 X 2400
- Autoajuste: Niveles de color, exposición y brillo
- Conector: Puerto USB 2.0
- Tasa de transferencia: 480 Mbit/s
- Compatibilidad: Sistema Operativo Linux
- Energía: Bajo consumo a través del puerto USB

Los parámetros a tomar en cuenta durante la adquisición de la imagen son los siguientes:

- 1) Tiempo de integración: mediante la cual las cartas son sometidas a la variabilidad lumínica.
- 2) Tiempo de adquisición: el tiempo que tarda la cámara en transferir la información digital.

### C. Sistema de iluminación

La iluminación es indispensable en el proceso de la adquisición de la imagen digital, puesto que facilita el análisis y la interpretación de la figura obtenida. Se utilizó un diodo LED de luz blanca de 280 lúmenes y potencia de 4.5 w de 6500K que cumple con las expectativas para controlar los diferentes escenarios a los que puede estar expuesta una imagen.

### D. Salida de audio

La reproducción del audio como resultado del reconocimiento de la imagen se realiza con la ayuda de una bocina de 2W conectada al jack de audio de 3.5 mm.

### E. Adquisición de imagen

El proceso de muestreo de una imagen asocia a cada punto un valor real; la imagen inicial se representa con la ecuación 1. El número de muestras por unidad de espacio sobre el objeto original determina la resolución espacial de la imagen, definida como la distancia entre dos pixeles adyacentes, sobre el objeto original [3].

$$I_C(x, y) \in R \quad (1)$$

Dentro del campo de visión de la cámara es necesario aplicar la localización de la imagen real de interés por el centro  $C = (C_x, C_y)$  y la orientación dada por el ángulo  $\Theta$ , teniendo en

cuenta que toda carta posee simetría en un ángulo de 180° por su característica de doble etiqueta. La orientación es 0° cuando la carta se encuentra paralela al eje de las x. Una representación gráfica de la posición de una carta se demuestra en la Figura 4.

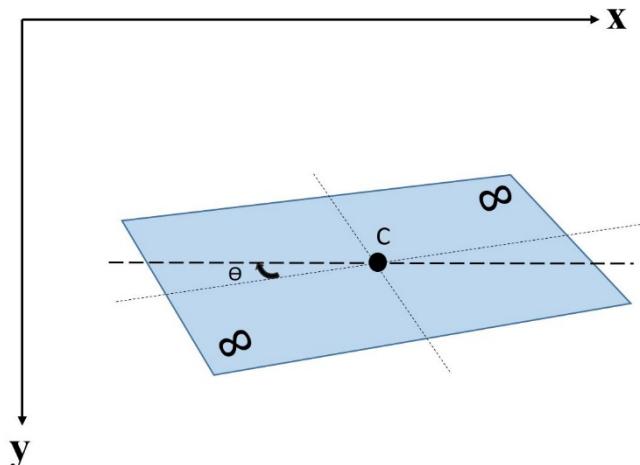


Figura 4. Posición de una carta en la mesa

La adquisición de una imagen se genera mediante el muestreo, proceso por el cual se convierte una imagen continua IC en tres matrices discretas ID de N x M píxeles como se expone en la ecuación 2.

$$I_D(x, y) = \begin{pmatrix} I_D(1,1) & I_D(1,2) & \cdots & I_D(1, M - 1) \\ I_D(2,1) & I_D(2,2) & & I_D(2, M - 1) \\ \cdots & & & \\ I_D(N - 1,1) & I_D(N - 1,2) & & I_D(N - 1, M - 1) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Donde la dimensión de la matriz ID se determina por la resolución de la cámara y las coordenadas (x, y) representan la posición de un pixel.

En el modelo de color RGB, cada matriz contiene la intensidad del pixel (x, y) en cada uno de los canales rojo, verde y azul, respectivamente.

#### F. Preprocesamiento

El *preprocesamiento* de las imágenes en el presente trabajo consistió en la detección de los bordes de la carta. Se entiende por borde al límite que puede tener un objeto o figura y que señala el fin de la superficie en relación con la del medio externo. Una vez determinando su contorno, se puede localizar todo el objeto, así como precisar sus propiedades básicas. La utilización de la información de bordes simplifica en gran medida el análisis de imágenes.

Las etapas para la *obtención* de los bordes se enumeran a continuación y se observan en la Figura 5:

- 1) Escala de gris
- 2) Función Gaussiana
- 3) Función Canny
- 4) Función Morfológica

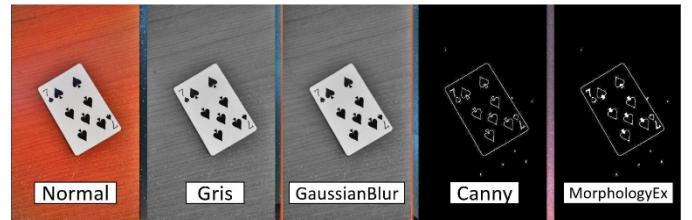


Figura 5. Filtros para la obtención de puntos del cuadrilátero de una imagen.

La discriminación de otros objetos que no son cuadriláteros se proporciona por la condición de cuatro puntos con respecto a los bordes de la imagen. Se utilizó la implementación del algoritmo de Douglas-Peucker [14] para dibujar el contorno de la carta. Con las coordenadas obtenidas se trazó el área procesada, utilizando las funciones de análisis estructural y descriptores de figuras [15].

Para cambiar la perspectiva de las imágenes de las cartas, que aparecen en general como paralelogramos, se aplicó una transformación geométrica [16]. Dicha transformación convierte los paralelogramos en rectángulos.

Posteriormente, se realizó la rotación de la imagen, de manera que la misma aparezca en una orientación horizontal o vertical, a partir de una orientación arbitraria, como se representa en la Figura 6.

Si se toman los puntos en el orden P0, P1, P2, P3, la orientación de la imagen es horizontal; caso contrario, si se recogen los puntos en el orden P0, P3, P2, P1, la orientación es vertical. El algoritmo de obtención de la imagen con la orientación no distingue qué secuencia de puntos es tomada, debido a este conflicto se debe procesar las dos orientaciones posibles.

La rotación de una imagen dada por el ángulo  $\Theta$  se representa con la matriz  $I_p$  (ecuación 8) que determina la imagen con la perspectiva transformada.

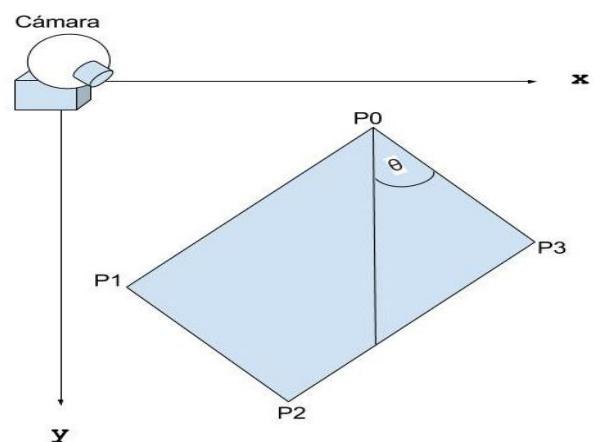


Figura 6. Rotación de la carta

$$I_p = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (8)$$

Para cambiar la orientación de horizontal a vertical o viceversa, se debe aplicar la ecuación 9 con el ángulo de giro de  $90^\circ$ , donde  $w$  y  $h$  son el ancho y la altura de la imagen, respectivamente. El resultado de aplicar el cambio de orientación se ilustra en la Figura 7.

$$I_t = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & w \\ -\sin \theta & \cos \theta & h \end{bmatrix} \quad (9)$$

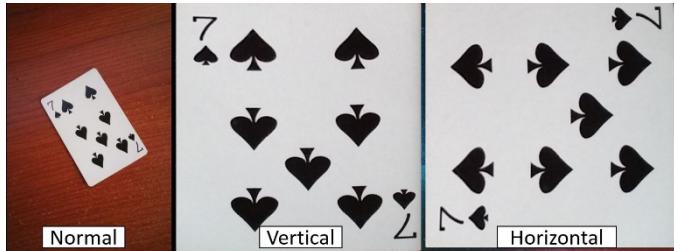


Figura 7. Nueva perspectiva y rotación

#### G. Segmentación

El resultado de este proceso es obtener la región de la carta que contenga la letra correspondiente. Para esto se divide la imagen en diecisésis partes como muestra la siguiente figura.

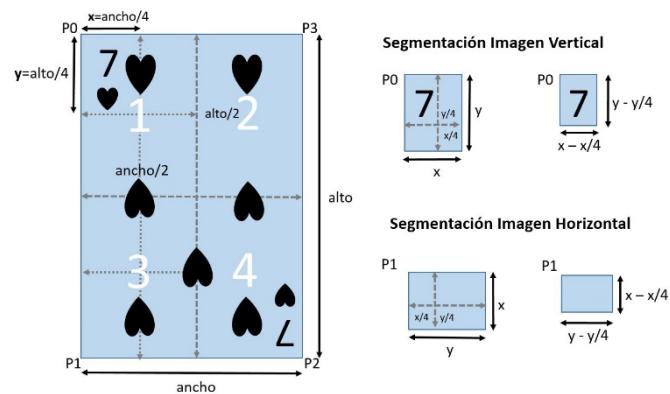


Figura 8. Segmentación del área de interés

Los puntos para obtener la segmentación del área de interés son las regiones 1 ó 4 mientras que las regiones 2 ó 3, tienen un área segmentada vacía que será descartada en la etapa posterior.

La ecuación 11 permite entender el proceso de binarización inversa de una imagen, donde maxval representa el valor que tomará el pixel  $(x, y)$  si su valor de intensidad es mayor al umbral. En la figura 9 se ilustra el resultado de este proceso.

$$I_B(x, y) = \begin{cases} \text{maxval} & \text{if } I_s(x, y) > \text{umbral} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (11)$$

#### H. Reconocimiento e Interpretación

El algoritmo kNN infiere la clasificación correspondiente a un vector de características  $x$ , asignándole la clase  $C_j$  correspondiente a los  $k$  vecinos más cercanos (o a la mayoría de ellos). Para esto, calcula previamente la distancia entre este

vector y todos vectores del conjunto de entrenamiento. Si  $R$  es el número de ejemplos de prueba y  $S$  el número de ejemplos de entrenamiento, el algoritmo requiere calcular  $R \times S$  distancias.

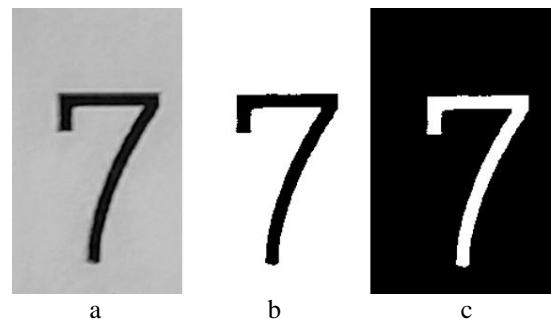


Figura 9. Operación umbral: (a) imagen Normal, (b) Umbral Binario y (c) Umbral Binario Invertido

De este modo, cada instancia de prueba es comparada con todas las instancias de entrenamiento, midiéndose la distancia de ambas. Las instancias correspondientes a los  $k$  valores menores se utilizan para predecir la clase de la instancia de prueba [7]. La expresión utilizada para el cálculo de la distancia, se muestra en la ecuación 12 [17].

$$\|x\| = (\sum_{i=1}^n (x_i)^2)^{1/2} \quad (12)$$

#### I. Parametrización de kNN

Para parametrizar el clasificador kNN (es decir, escoger los mejores parámetros) se utilizó la aplicación Classification Learner de MATLAB, utilizando un conjunto de entrenamiento de 70 ejemplos (5 por cada clase). Cada ejemplo consta de un vector de características de dimensionalidad 600 y una etiqueta correspondiente a una de las 14 clases (A, K, Q, J, 9, ..., ,0) [18]. Las variantes ensayadas por la aplicación y los correspondientes resultados se muestran en la Figura 10.

1.9 ★ KNN Last change: Weighted KNN	Accuracy: 95.7% 600/600 features
2 ★ KNN Last change: 'DistanceMetric' = 'Hamming'	Accuracy: 87.1% 600/600 features
3 ★ KNN Last change: 'NumNeighbors' = '1'	Accuracy: 95.7% 600/600 features
4 ★ KNN Last change: 'NumNeighbors' = '2'	Accuracy: 90.0% 600/600 features
5 ★ KNN Last change: 'NumNeighbors' = '3'	Accuracy: 91.4% 600/600 features
6 ★ KNN Last change: 'NumNeighbors' = '4'	Accuracy: 87.1% 600/600 features
7 ★ Ensemble Last change: Subspace KNN	Accuracy: 95.7% 600/600 features

Figura 10. Classification Learner Knn

La opción más viable propuesta por la aplicación es k un vecino más cercano 1NN con una precisión de 95.7 %. Los parámetros del modelo con mejor precisión se visualizan en la Tabla 1.

**Tabla 1** – Modelo de clasificación actual kNN

Modelo número 3	Características
Algoritmo	Fine kNN
Precisión	95.7%
Velocidad de predicción	~ 260 obs/sec
Tiempo de Entrenamiento	1.444 secs
Número de vecinos	1
Métrica de distancia	Euclídea
Estandarización de datos	Verdadero

### J. Clasificación

Se realiza la clasificación utilizando matrices de 1xN, donde N es el número de atributos que describen al valor de la carta vertical segmentada.

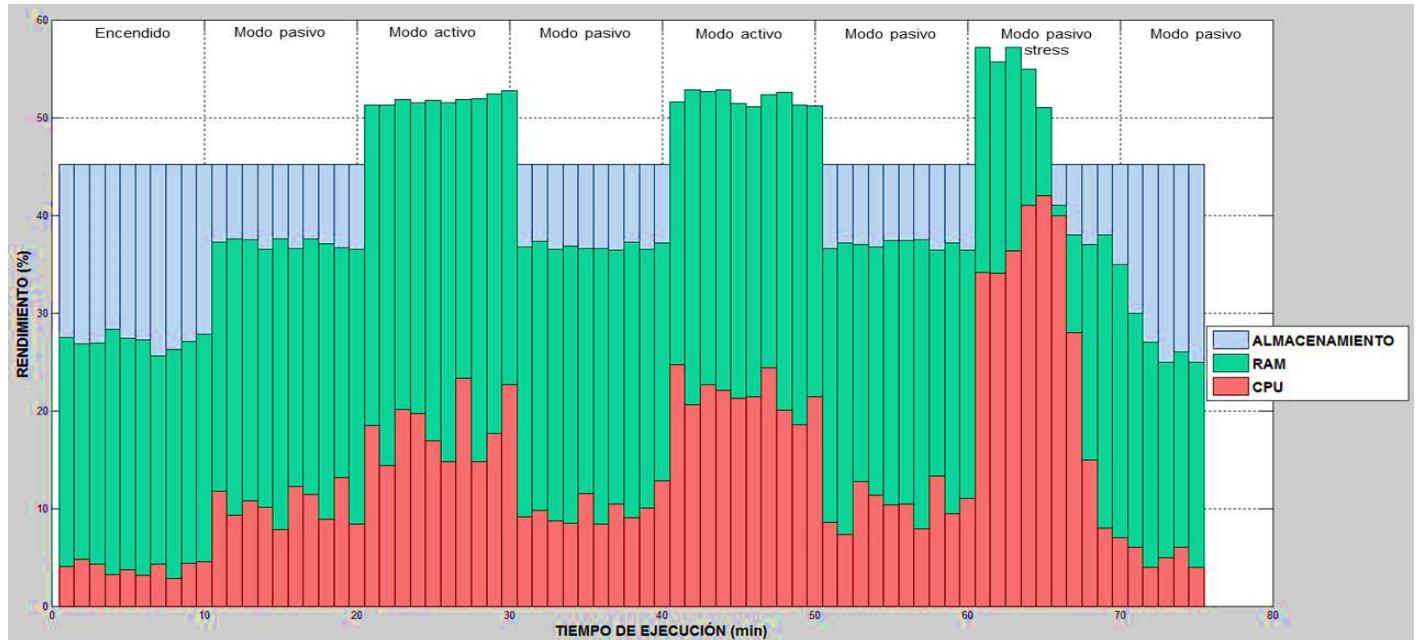
En el proceso de categorización, la función del algoritmo kNN es entregar el valor que representa la clase a la que pertenece la carta de baraja que se encuentra analizando.

### K. Conversor Text to Speech

El resultado de la clasificación se almacena en la memoria del dispositivo embebido y con la ayuda de un sintetizador de voz se convierte el lenguaje de texto en habla mediante una interfaz de Python para la API de Google Text to Speech (gTTS).

## III. RESULTADOS

En este apartado se dan a conocer los resultados obtenidos. Las pruebas se realizan cumpliendo las etapas de procesamiento de una imagen como se presentó en la Figura 1 en los diferentes ambientes a los que estuvo expuesto el sistema de reconocimiento de una carta.

**Figura 11.** Resultados de las pruebas de rendimiento

### A. Hardware

El sistema final brindó la posibilidad de trabajar en ambientes variables, utilizando un dicroico led de luz blanca para minimizar las variaciones de luminosidad en la imagen de la carta. El comportamiento del sistema al encenderse Raspbian se presenta en los intervalos (0,10] U (63,75] con un rendimiento del CPU de 5.3% y uso de RAM del 26.5%.

El procesamiento del CPU, la memoria RAM y el almacenamiento de la Raspberry Pi 3 bajo la ejecución del sistema automático de reconocimiento de una carta presentan dos etapas, un modo pasivo y un modo activo, como se aprecia en la Figura 11.

#### 1) Modo pasivo

La cámara se encuentra en modo pasivo, cuando el programa se ejecuta y el dispositivo se encuentra a la espera de presionar un botón para capturar una imagen, este momento se presenta en los intervalos (10,20] U (30,40] U (50,60] U (66,75].

- El uso del CPU en este instante varía de 7.3% a 13% del total de capacidad de procesamiento.
- La memoria RAM utilizada para esta operación es del 39%, es decir 362 MB de un total de 925.5 MB, donde solo se ocupa 172.4 MB en el modo pasivo que representa el 18.7% de uso de memoria utilizada por el aplicativo para reconocer las cartas, el resto lo ocupa los procesos del sistema

El almacenamiento del sistema embebido no sufre ninguna variación debido a que todo el proceso de modo pasivo no requiere de lectura o escritura en la microSD.

## 2) Modo activo

El modo activo empieza cuando el sistema embebido realiza las cinco etapas para el procesamiento digital de una imagen en el transcurso de (20,30] U (40,50] donde intervienen los algoritmos expuestos en el apartado 2.

- El rendimiento del CPU durante el transcurso de predicción varía entre 15% a 25% del total de la capacidad de procesamiento.
- La memoria RAM utilizada para el modo activo es 52% es decir 481 MB en el cual solo el 28.3% es para uso exclusivo del tratamiento de las imágenes, el resto se divide para la memoria cache 21.2% y el búfer de datos 2.5%.
- El almacenamiento no se ve afectado debido a que toda imagen se guarda y se sobrescribe, el uso de la microSD es del 45% hasta el momento, que equivale a 7.2 GB de espacio libre de un total de 16 GB el resto de almacenamiento se distribuye entre el sistema operativo y las aplicaciones que vienen por defecto instaladas.

Consecuentemente, en el intervalo de (60,63] se capturó 360 imágenes en un lapso de 3 minutos para analizar el comportamiento del CPU bajo un periodo de estrés. Durante este periodo, el procesamiento del sistema embebido tuvo una respuesta de 41.5% de rendimiento de RAM con un promedio del 37.75% de uso total del CPU. En el intervalo de (63,66] el sistema embebido terminó de realizar las operaciones en el modo pasivo de estrés descrito en el párrafo anterior.

La memoria RAM para esta prueba de estrés se mantuvo en 58%, lo que equivale a 536MB. Y una temperatura del procesador de 62.27°C.

### B. Software

Para la evaluación del clasificador, la selección de las cartas de baraja se realizó de manera aleatoria, sin embargo, también es posible ejecutarla en forma secuencial. El método utilizado fue el método de validación cruzada proporcionada por la herramienta Matlab con sus valores por defecto.

La precisión del reconocimiento de las cartas de baraja se estudió a partir de la matriz de confusión.

La precisión del sistema de reconocimiento de cartas fue de 95.71% y la clase con más baja exactitud fue la clase J, que fue confundida con las clases 1 y 7 por el clasificador como se muestra en la Figura 12.

La bondad de la clasificación para esta clase puede ser evaluada mediante el cálculo de la tasa de verdaderos positivos (VPR) y la tasa de falsos positivos (FPR), definidas mediante las ecuaciones siguientes:

$$VPR = \frac{VP}{VP + FN}$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + VN}$$



Figura 12. Matriz de confusión

La matriz de confusión de esta clase, calculada a partir de la matriz general, se muestra en la Figura X. Se ha llamado aquí “positivas” a las cartas pertenecientes a la clase J, y “negativas” a todas las demás.

Tabla 2 – Matriz de confusión de la clase J

		CARTAS RECONOCIDAS	
CARTAS ORIGINALS			CARTAS
			P
			N
P			60
			40
N			20
			1100

De esta matriz se pueden calcular la tasa VPR y la FPR, como se muestra a continuación:

$$VPR = \frac{60}{60 + 40} = 60\%$$

$$FPR = \frac{20}{20 + 1100} = 1.79\%$$

## IV. CONCLUSIONES

En este artículo se ha desarrollado un sistema automático de reconocimiento de cartas usando un sistema embebido Raspberry Pi 3 como una alternativa económica, de fácil implementación y baja exigencia computacional.

El rendimiento del CPU para este sistema está por debajo del 25% del total de la capacidad de procesamiento; y se utiliza un 28.3% de memoria RAM para realizar todas las operaciones hasta llegar a la clasificación de la carta.

El algoritmo de clasificación seleccionado es el de k-NN, con un valor de k igual a 1. Dicho clasificador tuvo una precisión de un 95.71% de efectividad; y fue capaz de reconocer las 14 clases de cartas en diferentes tipos de orientación bajo diferentes condiciones de iluminación con un total de 280 pruebas. El tiempo de respuesta del clasificador en promedio es de 1.785 segundos sin utilizar el text to speech, mientras que utilizando aumentó 2.983 segundos debido a la

generación y reproducción del audio, dando un promedio de respuesta de 4.768 segundos.

## V. TRABAJO FUTURO

El reconocimiento automático de una carta de baraja sobre una mesa corresponde a una de las fases de un proyecto mayor que busca la creación de un dispositivo personal de reconocimiento de cartas a ser utilizado en el juego de cuarenta para personas no videntes. Por otra parte, la plataforma física construida podría ser utilizada en otros proyectos de reconocimiento con visión artificial.

El aplicativo puede implementarse en cualquier dispositivo móvil Android debido a su compatibilidad con Kivy Android MV y P4A [20], en consecuencia el algoritmo no se limita a funcionar en dispositivos embebidos.

## REFERENCIAS

- [1] Sierra Alejandro and Jorge Vidal, "Visión artificial e interacción sin mandos." [Online]. Available: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos adicionales/trabajos/3D/VisionArtificial/index.html>.
- [2] Alamelu J, Wagle Satej, and Santhosh V, "An Improved k Nearest Neighbor Classifier Using Interestingness Measures for Medical Image Mining," *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 9, pp. 550–554, 2013.
- [3] J. S.Raikwal and K. Saxena, "Performance Evaluation of SVM and K-Nearest Neighbor Algorithm over Medical Data set," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 50, no. 14, pp. 35–39, 2012.
- [4] M. A. S. Oscar Möller, Javier W. Signorelli, "Algoritmo Para Detección De Bordes Y Ulterior Determinación De Objetos En Imágenes Digitales," vol. XXX, pp. 1–4, 2011.
- [5] L. R. Sudha and R. Bhavani, "Performance Comparison of SVM and kNN in Automatic Classification of Human Gait Patterns," *Int. J. Comput.*, vol. 6, no. 1, pp. 19–28, 2012.
- [6] D. Lojo, D. E. Losada, and Á. Barreiro, "CIE-9-MC Code Classification with knn and SVM," Universida de Coruna Espana, 2008.
- [7] P. D. Gutiérrez, M. Lastra, J. Bacardit, J. M. Benítez, and F. Herrera, "GPU-SME-kNN: kNN escalable y eficiente en memoria utilizando GPU."
- [8] C. Karina, G. Durán, M. Juganaru-Mathieu, C. Á. Cruz, and H. J. Vázquez, "Desarrollo de una aplicación destinada a la clasificación de información textual y su evaluación por simulación Administración," Mexico, 2012.
- [9] M. Simon, *Raspberry Pi Cookbook*, Second Edi.
- [10] United States of America: OReally Media Inc, 2016.
- [11] S. Prasad, P. Mahalakshmi, A. John, C. Sunder, and R. Swathi, "Smart Surveillance Monitoring System Using Raspberry PI and PIR Sensor," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 6, pp. 7107–7109, 2014.
- [12] Senthilkumar G, Gopalakrishnan K, and Satish Kumar, "Embedded image capturing system using raspberry pi system," *Int. J. Emerg. Trends Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 213–215, 2014.
- [13] M. Sandip and S. B. Mali, "Lip Password Based Personal Authentication," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 5, no. 12, pp. 587–591, 2015.
- [14] A. Mishra and A. Dixit, "Embedded Image Capturing & Digital Converting Process using Raspberry pi System interfacing and Comparision of Generation 2 verses Generation 1 models in Raspberry pi," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 1789–1801, 2015.
- [15] G. Bradski and K. Adrian, *Learning OpenCV*, First Edit. United States of America: OReally Media Inc, 2008.
- [16] OpenCV Dev Team, Suzuki S, and Sklansky J, "Structural Analysis and Shape Descriptors," 1995. [Online]. Available: [http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural\\_analysis\\_and\\_shape\\_descriptors.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html).
- [17] OpenCV Organization, "Geometric Image Transform," 2014. [Online]. Available: [http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric\\_transformations.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric_transformations.html). [Accessed: 02-May-2016].
- [18] A. Zapata-Tapasco, S. Pérez-Londoño, and J. Mora-Flórez, "Método basado en clasificadores k-NN parametrizados con algoritmos genéticos y la estimación de la reactancia para localización de fallas en sistemas de distribución," *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, vol. 70, pp. 220–232, 2014.
- [19] LeCun Yann, Cortes Corinna, and Burges Christopher, "THE MNIST DATABASE of handwritten digits," *The Courant Institute of Mathematical Sciences*, 1998. [Online]. Available: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>.
- [20] J. Cerdá and L. Cifuentes, "Uso de curvas ROC en investigación clínica: Aspectos teórico-prácticos," *Rev. Chil. infectología*, vol. 29, no. 2, pp. 138–141, Apr. 2012.
- [21] A. Taylor, "Python for Android," 2016. [Online]. Available: <https://python-for-android.readthedocs.io/en/latest/quickstart/>.

# Diseño y Simulación de un Robot Sembrador de Maíz por Surcos

## *Design and Simulation of a Corn Seed Planter Robot Through Furrows*

Castro Blacio Christian Bolivar, Mosquera Canchingre Guillermo Alfredo, Bonilla Venegas Felix Vladimir

Universidad Tecnológica Equinoccial

Quito, Ecuador

christian.\_cas\_150@hotmail.com, mcka32727@ute.edu.ec, fbonilla@ute.edu.ec

**Resumen —** Este documento trata el diseño, simulación y estudio de factibilidad de un robot sembrador de maíz por surcos. En el desarrollo de este sistema se utiliza la metodología mecatrónica empezando con la definición de los requerimientos. Además, se presenta el diseño conceptual, en base al cual se realiza el diseño específico; en el cual se diseña la estructura mecánica del sistema utilizando una herramienta CAD, la tarjeta de control, se realiza el dimensionamiento de motores y sistema de alimentación. Posteriormente, se realiza integración de los sistemas para realizar la verificación y validación de los requerimientos por medio de simulación en un entorno virtual que simula el campo en el cual actuará el robot y así finalmente obtener el producto.

**Palabras Clave -** robótica; VRML; simmechanics;mecatrónica .

**Abstract —**This paper deals with the design, simulation and feasibility study of a corn planter robot through furrows. In the development of this system the mechatronics methodology is used starting with the requirements definition. In addition, it presents the conceptual design, on which the specific design is based; in which the mechanical structure of the system, the control board, the sizing of motors and power system is performed. Afterwards, the system integration is performed for verification and validation of the requirements through a simulation in a virtual environment that simulates the field in which the robot will act to finally get the product.

**Keywords -** robotics; VRML; simmechanics;mechatronics.

### I. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el cultivo de maíz duro representa uno de los más importantes productos para salvaguardar la seguridad alimentaria de sus habitantes (consumo humano y consumo animal). El maíz amarillo duro (tipo cristalino) que se produce en Ecuador, es de excelente calidad tanto para la elaboración de alimentos balanceados como para las industrias de consumo humano; debido a su elevado contenido de fibra, carbohidratos, caroteno y el alto nivel de rendimiento en la molienda, así como por sus precios. La temporada de cosecha más alta se da en ciclo de invierno (Abril – Julio)[1].

Los datos sobre la producción de maíz de [2], [3], de la producción nacional de maíz, la avicultura consume el 57%, los

alimentos balanceados destinados para otros tipos de animales es de 6%, la cantidad destinada para la exportación a Colombia es de 25%, para las industrias de consumo humano 4%, el resto es utilizado para el consumo nacional y como semilla. Además, Ecuador tiene la capacidad de exportar subproductos del maíz, tales como el *grits* y la *sémola*. Estos productos son utilizados para elaborar polenta, arepas y *snacks*.

El proceso de siembra de maíz, requiere mucho tiempo y esfuerzo. La siembra se realiza manualmente por una persona, obligando a la misma a agacharse y levantarse constantemente, provocando dolor lumbar, fatiga por estar expuesto al sol durante varias horas; factores que se traducen en una mala inyección del maíz en el surco. Por ello, se propone el diseño de un robot capaz de realizar la siembra de maíz de forma estandarizada de acuerdo a la “Guía para la producción de maíz” [4]. El presente proyecto abarca: el diseño y simulación. Se plantea las especificaciones técnicas del robot, para ser construido en el futuro según dichas especificaciones. Dicho robot propuesto en el presente documento es capaz de recorrer los surcos de manera autónoma con una duración de funcionamiento de 3 horas. Para ello el robot está dotado de algoritmos de control y sensores que le ayudan a recorrer los surcos, sembrar las semillas a una profundidad específica y a una distancia correcta entre semilla y semilla. Todo esto es comprobado de manera teórica a través de la simulación y cálculos cinemáticos para el desplazamiento del robot.

En la actualidad se ha desarrollado 2 robot similares a los que se propone en este documento. A) Robot sembrador de maíz controlado por Bluetooth[5]. B) “Versa” Robot sembrador de maíz autómata[6]. En el caso del robot desarrollado en [5] el robot debe ser controlado por un usuario remotamente y el robot desarrollado en [6] debe ser programado antes de realizar el proceso de siembra. A diferencia del robot propuesto en este documento el cual sólo necesita que se le indique el número de surcos a sembrar antes de iniciar el proceso de siembra.

## II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del robot se utiliza la metodología para el desarrollo de sistemas mecatrónicos presentada en [7] la cual plantea las siguientes etapas:

- Requerimientos:

El robot debe cumplir ciertas condiciones (largo, ancho y profundidad, tracción, peso) para que pueda desplazarse a través de los surcos sin ningún problema. Así mismo el terreno debe cumplir con ciertos criterios de longitud y ancho para que el robot pueda desplazarse y realizar la inyección de la semilla correctamente, de acuerdo a la Guía para la producción de Maíz en la sierra ecuatoriana [4]

• El diseño general del sistema establece la estructura general y los elementos de la misma, así como el comportamiento que debe tener el robot al momento de funcionar.

- El diseño específico está dividido en 3 dominios:

Diseño mecánico: Es el sistema encargado de mantener a todos los elementos del robot separados del suelo. Se toma en consideración las dimensiones de los surcos y el peso del robot junto con el maíz. El diseño mecánico cuenta con el diseño de las columnas, chasis y amortiguación.

Diseño eléctrico y electrónico: Es el sistema encargado de energizar a todo el robot durante un cierto tiempo sin que pierda funcionalidad hasta cumplir con su objetivo (25 surcos con una distancia de 25m).

Diseño de control: Sistema encargado de dar posición y orientación al robot a través de las ruedas para que pueda desplazarse, girar e inyectar la semilla en cada surco.

- Integración de los sistemas: Es la simulación como tal, integra a los sistemas mecánico, eléctrico, electrónico, control. La simulación es la representación teórica del funcionamiento esperado del robot ante los requerimientos solicitados.

- Retroalimentación: Es el resultado de los posibles inconvenientes en la simulación como problemas en algún subsistema específico (mecánico, eléctrico, electrónico, control), que deben ser corregidos para llegar a su funcionamiento esperado.

- Producto: es el resultado final de la simulación junto con el estudio de factibilidad que demostrará si el robot es rentable en ser construido y puesto en marcha.

## III. REQUERIMIENTOS

### A. Requerimientos para el cultivo de maíz

Según [4] para la siembra de maíz en unicultivo la distancia entre sitio debe ser de 0.20 m y la distancia entre surcos debe estar entre 0.80 y 0.90 m.

### B. Requerimientos generales del prototipo

- Capacidad de carga: El prototipo debe cargar un máximo de 10 kg de semillas de maíz, además de su propio peso (24.5kg)

- Tracción total: Cada rueda del robot contará con un motor.
- Autonomía: El prototipo será capaz de funcionar 3 horas en siembra
- Trayectoria: El robot podrá realizar dos tipos de trayectoria, en línea recta y semi-circunferencia.
- Velocidad: La velocidad del robot será de aproximadamente 0,04 m/s

## IV. DISEÑO CONCEPTUAL

La arquitectura conceptual del robot se basa en la estructura de los sistemas mecatrónicos propuesto en [7]. En la Fig. 1 se puede observar que el esta arquitectura consta de fuente, actuadores, sistema base, sensores, procesamiento de la información, así como el ambiente y usuario que interactúan con el robot.

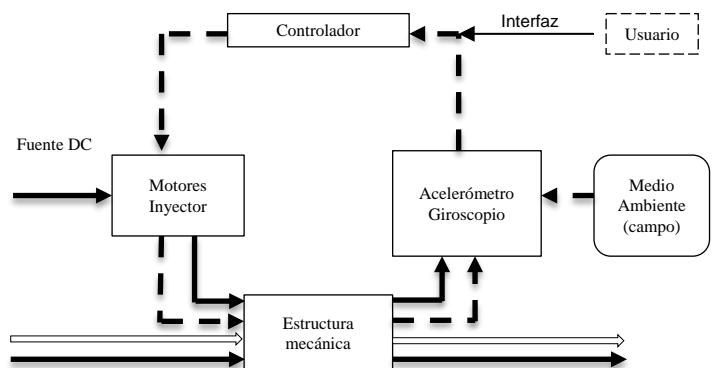


Figure 1. Arquitectura conceptual del prototipo del robot sembrador

La nomenclatura de flechas utilizadas en la arquitectura conceptual del robot se presenta la TABLE I.

TABLE I. FLUJO ENTRE ELEMENTOS DEL ROBOT

Flecha	Significado
→	Flujo de materiales
→	Flujo de energía
→	Flujo de información

En el caso del flujo de material, se refiere a la semilla que el robot siembra en el terreno. Respecto a la energía no solo se refiere a la energía eléctrica que circula por varios de sus elementos, sino que también hace referencia a la energía potencial y cinética. Finalmente, el flujo de información se refiere a las variables de estado que, en este caso, corresponde a la posición y orientación del robot principalmente.

La fuente de alimentación del sistema consta de una fuente principal DC, para la alimentación del circuito de control y dos fuentes de DC para los motores.

- Como actuador se cuenta con el inyector, que se encargará de depositar la semilla a una cierta profundidad en el surco, tenemos a los motores encargados de movilizar al robot por los surcos.

- Los sensores utilizados son: el acelerómetro, para estimar el avance y paro del robot durante su funcionamiento y el giroscopio que indica los grados de giro del robot al terminar cada surco.
- El ambiente describe el entorno de campo donde se siembra el maíz que debe ser estandarizado.
- El factor humano recae sobre el usuario final del prototipo.
- La interfaz entre hombre y maquina (HMI) está constituida por una pantalla de 16x2, en el cual se programa el número de surcos a trabajar (máximo 25 surcos).
- Procesamiento de la información: el sistema de control está formado por dos partes básicas: el microcontrolador y el algoritmo de control.
- La estructura mecánica tiene la función de soportar todos los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos del robot.

## V. DISEÑO ESPECÍFICO

Una vez definida la arquitectura conceptual, se realizan los cálculos necesarios para realizar la selección y dimensionamiento de los elementos específicos que constituyen el robot.

### A. Diseño mecánico

Se dimensionó una tolva en forma de cono truncado con un volumen suficiente para albergar 10 kg de maíz.

Para sostener la tolva se dimensionó una placa superior. Dichas dimensiones se muestran en la TABLE I.

TABLE II. DIMENSIONES PLACA SUPERIOR

Largo	Ancho	Espesor
45 cm	30 cm	1 cm

Para sostener el peso de la tolva y la placa superior se dimensionó 4 columnas de constitución sólida de 6.35 mm (1/4") de diámetro en acero AISI1020. Este dimensionamiento es suficiente para que las columnas no se deformen o tiendan a pandearse.

Para diseñar el sistema de amortiguación se debe tomar en cuenta el centro de masa del robot ( $X=23.67\text{cm}$ ,  $Y=28.19\text{cm}$ ,  $Z=-31.37\text{cm}$ , Fig. 2), con el objetivo de mantener la estabilidad del robot durante su recorrido por surcos, sin que el robot tienda a inclinarse y producir una incorrecta inyección de la semilla en el surco.

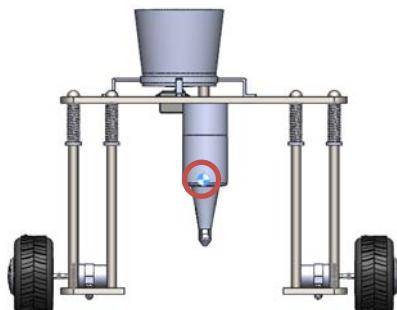


Figure 2. Centro de masa del robot.

De acuerdo a lo establecido en [8] se diseñó la amortiguación basado en un sistema de resortes de tal forma que el robot se mantenga estable mientras transita por el terreno. Fig. 3 muestra el modelo físico del robot

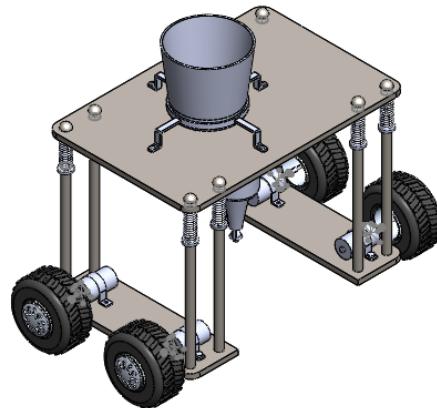


Figure 3. Diseño general del sistema

### B. Diseño electrónico

El sistema de tracción motriz está diseñado para movilizarse a una velocidad de 40 centímetros cada 4 segundos.

El dimensionamiento de los motores se lo realizó en base a lo presentado en [9] obteniendo como resultado 4 motores con una potencia de 5.08 W cada uno. La alimentación de los elementos de control y actuadores se realiza de forma independiente. Para esto se utilizan 3 baterías en total, 1 para alimentar el control y 2 baterías para alimentar a los motores.

Para alimentar los elementos de control se dimensionó una batería de 5200 mAh. Se necesita una batería de 5200 mAh para alimentar 2 de los 4 motores para garantizar que el sistema funcione de forma continua durante 3h.

### C. Diseño de control

El control de robot está basado en la cinemática del robot la cual está definida en [10] y [11] la cual permite controlar la trayectoria que sigue el robot a través de la asignación de las velocidades angulares a las ruedas agrupándolas como ruedas izquierdas y ruedas derechas. Para obtener la trayectoria deseada las velocidades angulares deben cumplir las condiciones indicadas en la TABLE III.

TABLE III. CONTROL TRAYECTORIA ROBOT MOVIL

Movimiento	Condición
ínea recta	$\omega_r = \omega_l$
Giro derecha	$\omega_r < \omega_l$
Giro Izquierda	$\omega_r > \omega_l$

Donde:

- $\omega_r$ : es la velocidad angular de las ruedas del lado derecho
- $\omega_l$ : es la velocidad angular de las ruedas del lado izquierdo

Para controlar la trayectoria del robot de tal forma que este atraviese todos los surcos y se detenga a insertar la semilla se manipula las magnitudes de las velocidades utilizando una máquina de estados la cual contiene la lógica de funcionamiento del robot.

## VI. SIMULACIÓN

Para realizar la simulación se integraron todos los diseños realizados. La Fig. 4 muestra dicha integración. La simulación permite obtener datos del comportamiento del robot con el fin de verificar el cumplimiento de los requerimientos planteados.

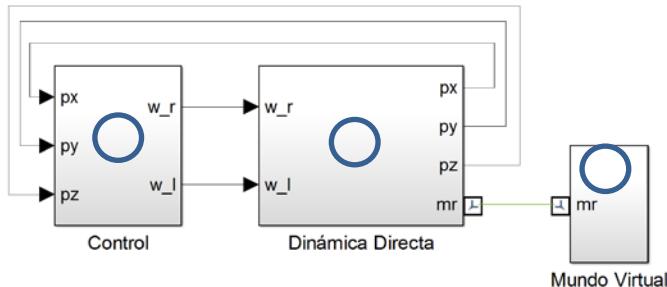


Figure 4. Modelo del sistema

Donde:

1. Corresponde a la máquina de estados que controla el sistema.
2. Es la integración de la dinámica y cinemática del robot que abarca el modelo desarrollado en una herramienta CAD y el modelo cinemático.
3. Incluye el modelo del mundo virtual desarrollado en una herramienta CAD que representa el campo en el cual se va a desplazar el robot.

Se puede observar que las posiciones x, y, z son realimentadas al bloque de control. Esto se lo realiza para conocer la posición del robot y controlar las velocidades angulares de las ruedas y producir una trayectoria que permita que el robot pase por todos los surcos.

En la simulación se configuró tiempo infinito para así observar que el robot cumpla con la programación de la máquina de estados la cual incluye los datos del terreno descrito en los requerimientos, por lo que el robot debe desplazarse a través de todos los surcos para insertar las semillas.

En la Fig. 5 se puede visualizar el robot desplazándose dentro de un mundo virtual.

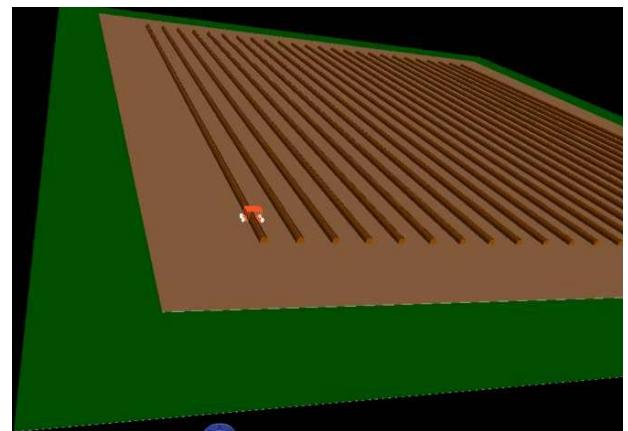


Figure 5. Mundo virtual

En la Fig. 6 se puede observar el funcionamiento del inyector el cual se extiende y luego se contrae cada vez que el robot de inyectar la semilla en el terreno de acuerdo a su lógica de control.

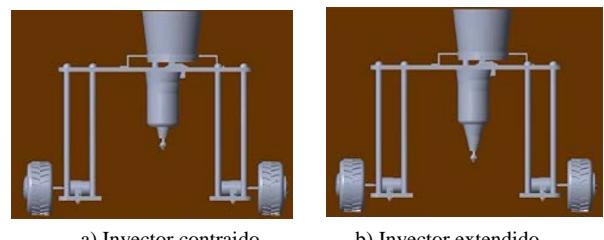


Figure 6. Simulación del sistema telescopicoMundo virtual

## VII. RESULTADOS

Los resultados de la simulación del sistema robótico integrado se obtiene lo mostrado en la Fig. 7, donde se puede apreciar el recorrido realizado del robot a través de los surcos. Se puede observar que el robot en su trayectoria recorre 25 surcos antes de detenerse y que la longitud recorrida por el robot a través de cada uno de los surcos es de 25 m.

El sistema realiza este recorrido en 3 h. Mientras realiza su trayectoria el sistema se detiene cada 40 cm para realizar la inyección de la semilla según el requerimiento.

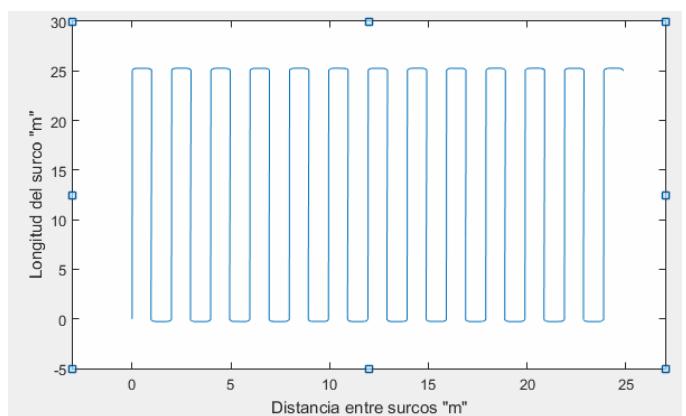


Figure 7. Trayectoria a través de surcos

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] San Camilo: Comercializadora de Granos S.A., “Nuestras semillas: maíz.” [Online]. Available: <http://www.sancamilo.com.ec/maiz.html>. [Accessed: 05-Mar-2016].
- [2] R. Avilés, “Producción, comercialización y rentabilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en el cantón valencia, provincia de los ríos,” Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2015.
- [3] B. Guerrero and M. Stephanía, “Alternativa de utilización del okara en el desarrollo de un producto dirigido a la alimentación escolar,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2012.
- [4] J. Egüez and P. Pintado, “Guía para la producción de maíz en la sierra sur del Ecuador,” no. 406. pp. 1–22, 2011.
- [5] NVI Noticias, “Diseñan robot sembrador de maíz en Oaxaca,” 2016. [Online]. Available: <http://www.nvinoticias.com/nota/1638/disenan-robot-sembrador-de-maiz-en-oaxaca>. [Accessed: 19-May-2016].
- [6] CONACYT, “Estudiantes diseñan vehículo robotizado para siembra y reforestación,” 2015. [Online]. Available: <http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/robotica/4519-disenar-vehiculo-robotizado-para-trabajos-de-reforestacion-y-cultivo>. [Accessed: 19-May-2016].
- [7] Vdi, “Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme Design methodology for mechatronic systems VDI 2206,” Design, no. June. p. 118, 2004.
- [8] R. Mott, Diseño de elementos de máquinas, 4ta ed. Naucalpan de Juárez: Pearson Education, 2006.
- [9] M. Chaglla, D. Paúl, and I. N. G. Acosta, “Diseño, Construcción E Implementación De Un Prototipo De Robot Móvil Para El Recorrido De Trayectorias Definidas Por Computador Para El Laboratorio De Robótica Industrial DECEM,” 2014.
- [10] V. R. N and A. T. Mathew, “Design , Simulation and Implementation of Cascaded Path Tracking Controller for a Differential Drive Mobile Robot,” no. 1, pp. 1085–1090, 2015.
- [11] Y. Chung, C. Park, and F. Harashima, “A Position Control Differential Drive Wheeled Mobile Robot,” vol. 48, no. 4, pp. 853–863, 2001.

# Práctica Industrial en Ingeniería de Requisitos

## Un estudio empírico de empresas latinoamericanas

Dante Carrizo, Jorge Rojas

Departamento de Ing. Informática y Cs. de la Computación

Universidad de Atacama, UDA

Copiapó, Chile

dante.carrizo@uda.cl, Jorge.rojas@alumnos.uda.cl

**Resumen—**La ingeniería de requisitos implica un gran desafío para los desarrolladores de software. La interacción con los stakeholders para especificar las necesidades que el producto software debe satisfacer, requiere de un esfuerzo por la adopción de buenas y exitosas prácticas. Este estudio pretende conocer la realidad de la industria del software en Latinoamérica respecto a la ingeniería de requisitos. Para esto, se llevó a cabo un estudio empírico, a través de encuestas y entrevistas a 35 empresas de desarrollo de software. Los resultados muestran que las entrevistas y casos de uso son las técnicas de educación y análisis de requisitos, más utilizadas. Además, muestran una baja adopción de técnicas formales de documentación, herramientas y metodologías formales. Este estudio arroja tendencias de adopción que pueden ser contrastadas con las propuestas científicas.

**Palabras claves—**Ingeniería de requisitos; práctica industrial; survey; técnicas de requisitos; herramientas de requisitos.

### I. INTRODUCCIÓN

La rápida evolución de la tecnología informática ha facilitado la creación de nuevas funciones y esquemas de trabajo en las organizaciones dedicadas al desarrollo de software, buscando mejorar la calidad de los productos entregados a los stakeholders.

Las distintas características que se deben considerar en el desarrollo de software como la velocidad de procesamiento, vigilancia en los costos, seguridad de la información, comunicación con los stakeholders y dinámica del negocio, asignan una complejidad particular a esta disciplina que la diferencia de otras ingenierías [1], [2].

Una etapa crucial para el éxito del desarrollo de software es la ingeniería de requisitos (IR). Esta etapa pretende establecer las expectativas de los stakeholders para desarrollar el producto que las satisface, lo cual agrega complejidad a la ingeniería de software. La IR contempla tareas tales como: educación, análisis, especificación, validación y gestión de requisitos [3].

El desarrollo de software se ha convertido en una actividad tan especializada que las compañías se han desligado de la producción de software, externalizando esta actividad a empresas cuyo foco principal es la ingeniería de software. Este fenómeno ha generado un aumento en la actividad económica del software a nivel mundial. Estudios han demostrado este crecimiento vertiginoso en la industria del software latinoamericana [4], [5], pero poca evidencia se tiene de la

práctica industrial latinoamericana que se aplican en la ingeniería de requisitos (IR) [6].

Por este motivo la siguiente investigación pretende establecer una línea base de la actividad de requisitos que permita analizar el estado de la práctica de la industria del software en ingeniería de requisitos para así generar una reflexión del mundo académico en la búsqueda de estrategias para la industria latinoamericana.

Este artículo está dividido en 5 secciones. La segunda sección describe los trabajos relacionados en el área. La tercera sección describe brevemente la metodología utilizada para el desarrollo de esta investigación. La cuarta sección presenta los resultados obtenidos mediante cuestionarios y entrevistas. La quinta sección presenta la discusión de resultados, principales conclusiones y perspectivas de trabajos futuros.

### II. TRABAJOS RELACIONADOS

Se han identificado algunos trabajos en los últimos 15 años sobre el estado de la práctica en ingeniería de requisitos.

En el año 2000, se aplicó una encuesta completamente basada en la literatura. También se realizaron entrevistas con preguntas abiertas, orientadas a la mejora de procesos. El principal problema es que las encuestas solo fueron aplicadas a 12 empresas en Finlandia y 15 funcionarios de las mismas fueron entrevistados. Los principales problemas encontrados se resumen en cómo unir fases de desarrollo con herramientas de gestión de requisitos, aplicar métodos para verificar la calidad del software, utilizar un marco de trabajo y/o guías de mejores prácticas en ingeniería de requisitos. Otro de los grandes problemas analizados fue la baja especialización de los miembros de la empresa [7].

En el 2002, se realizaron encuestas a 38 participantes, sobre las fuentes de requisitos utilizadas por los desarrolladores de software en Argentina. Estos desarrolladores utilizaban principalmente técnicas de educación tradicionales como entrevistas, cuestionarios, análisis de formularios. Además el 29% de los participantes utilizaban también técnicas grupales como tormenta de ideas, focus group, prototipación. Mencionaban que tomaban principal atención en la disponibilidad de los stakeholders, cantidad de personas y el tiempo de disponibilidad. También en el trabajo de preparación de las sesiones y el entrenamiento de los ingenieros de requisitos [8].

En 2003 se aplicó un cuestionario a 1519 personas de las cuales contestaron 194. Este cuestionario estaba enfocado a

técnicas de educación, técnicas de modelado y ciclo de vida de un proyecto. De los resultados obtenidos se puede destacar que una de las metodologías de desarrollo más utilizadas es cascada, aunque esto puede variar dependiendo del dominio del proyecto. En proyectos de duración de más de 2 años los modelos incrementales eran más comunes. En las técnicas de educación de requisitos más del 50% de los participantes señalaron utilizar escenarios y casos de uso. Por otro lado, solo un 30% reportó que realizaban un análisis orientado a objetos. El 33% indicaron que no utilizaban una metodología en particular para el análisis y modelado de requisitos [9].

En el 2007 se realizó un estudio que analizó las mejores prácticas con datos desde casos de estudios y cuestionarios. No obstante, solo fueron consideradas prácticas de metodologías ágiles, específicamente XP [10].

En el 2008 un estudio cualitativo fue desarrollado para entender el cómo y por qué las metodologías ágiles en IR difieren de las metodologías tradicionales. Se recolectó información desde 16 organizaciones, obteniendo un set de prácticas agiles y concluyendo que la intensiva comunicación con los stakeholders es lo más importante en las prácticas de IR [11].

Un estudio más reciente, realizado en el 2015, se llevó a cabo en Ecuador en donde se aplicó un cuestionario a 51 empresas. El cuestionario fue enfocado al tiempo en funcionamiento de la empresa, certificaciones, tamaño de equipos de desarrollo, procesos de ingeniería de requisitos, técnicas utilizadas y principales problemas.

En el 2014, una encuesta enfocada en características de proyectos, prácticas organizacionales y prácticas de profesionales en IR se llevó a cabo. Esta encuesta se aplicó a 3000 profesionales, de los cuales se obtuvieron 250 respuestas. Los profesionales que respondieron esta encuesta fueron programadores, ingenieros de sistema, jefes de proyectos, analistas y consultores. Como resultado se obtuvo que el 46% de los encuestados utilizaron una metodología ágil (por ejemplo, SCRUM, Extreme programming, Feature Driven Development). En relación a las técnicas de educación y modelado, el 65% de los encuestados utilizan *brainstorming*, un 38% utiliza Escenarios, como casos de usos y un 61% declaró que expresan los requisitos en lenguaje natural. La encuesta fue una extensión a la encuesta aplicada en el 2003 por [9], [12].

En general las empresas cuentan con muy pocas personas especializadas en el área de requisitos. Específicamente solo el 29% de las empresas tienen un profesional en requisitos. Además el 98% de estas empresas no contaba con alguna certificación en sus procesos de desarrollo como por ejemplo CMMI y solo el 10% contaba con una certificación ISO. En procesos de ingeniería de requisitos el 88,20% de las organizaciones requisitos no gestionan los requisitos. Un resultado algo preocupante fue que el 45% no entienden la fase de documentación, un factor que impacta negativamente en la planificación y gestión de proyectos [13].

En el 2015, se realizó una investigación en IR que busca entregar una visión amplia de las técnicas de uso común y también saber si existe una correlación entre el éxito prácticas

en un proyecto de software. Una encuesta fue aplicada a 625 personas, obteniendo 419 como respuesta. Este estudio fue realizado también con datos de otras investigaciones [9] y basado principalmente en empresas suizas. Como resultado, se obtuvo que las prácticas más utilizadas tengan relación a talleres con los stakeholders, análisis de sistemas existentes, o mediante la reutilización de requisitos. También utilizan mezclas de modelado informal, creación de prototipos, análisis orientado a objetos. Pero ninguna técnica de modelado era dominante. Técnicas formales, agentes y metas eran poco utilizadas. Finalmente no se pudo juzgar el éxito dominante de las prácticas en la IR. [14]

### III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Una encuesta o *survey* es un método empírico comúnmente utilizado para identificar características de una amplia población de individuos. Se asocia generalmente al uso de cuestionarios para la recopilación de datos. Sin embargo, puede también ser conducido por medio de entrevistas estructuradas o técnicas de registro de datos (data logging) [15].

Este método será utilizado en la recopilación de la información desde los desarrolladores de software. La información a capturar comprende datos demográficos como identificación, localización, organizacionales, financieros, entre otros. También, aspectos detallados de metodologías, técnicas, herramientas y experiencia en requisitos de software. La mayoría de esta información se recopilará a través de cuestionarios pero también se realizarán entrevistas en empresas para adquirir información cualitativa de referencia y validación.

Los encuestados debían ser jefes de proyectos, gerentes o propietarios de empresas desarrolladoras de software de países latinoamericanos.

Para llevar a cabo la recolección de datos relevantes se desarrolló un cuestionario y una entrevista, basados en la guía avanzada de ingeniería de software empírica [15],[16].

Estos instrumentos fueron aplicados a empresas desarrolladoras de software de países latinoamericanos, específicamente en: Chile, Argentina, Perú, Brasil, Colombia, Ecuador, Costa Rica y México. El criterio de selección de estas empresas, dependió de que países registraron un mayor aumento de sitios web y uso de TICs entre el año 2006 y 2010, estudio realizado por la OECD [17].

El periodo de recolección de datos se efectuó durante la segunda mitad del 2015 y principios del 2016.

### IV. DESARROLLO DEL ESTUDIO

#### A. Cuestionario

El desarrollo del cuestionario fue basado en las recomendaciones que entregan en la guía para diseñar cuestionarios [16] y con preguntas de acuerdo a la literatura de IR en [18], [19].

Teniendo en consideración que el cuestionario se aplicará vía correo electrónico utilizando Google Forms, éste debe ser breve para no perder el interés de los entrevistados. Además se

debe tener en cuenta que la tasa de respuestas en encuestas por internet es aproximadamente de un 9-10% aproximadamente, según [20].

Para evitar la baja tasa de respuestas se realizó una introducción previa para reducir incertidumbres o sorpresas y fomentar mayor cooperación de los participantes. En esta notificación se motivó a los encuestados dándoles a conocer los beneficios que pueden tener una vez finalizada esta investigación.

El diseño del cuestionario fue pensado para ser respondido en un tiempo no mayor a 10 minutos, con preguntas claras enfocadas a tres principales áreas. Estas áreas son: datos demográficos como identificación, localización, organizacionales, financieros, etc.; además de prácticas en IR y desarrollo de software.

Para seleccionar las empresas fue de acuerdo a los primeros 30 resultados del *PageRank* que entrega el buscador google en cada país seleccionado.

Los cuestionarios fueron aplicados a profesionales como gestores de proyectos, ingenieros de software, programadores, CEO y CIO. Es importante mencionar que los profesionales que fueron encuestados no son parte de la muestra de participantes en las entrevistas.

El muestreo realizado fue del tipo no-probabilístico por conveniencia. Este método se escogió debido a la falta de información actualizada sobre la población de productores de software en Latinoamérica. El tamaño de la muestra es de 240 empresas debido a que el tamaño de la población es desconocida.

## B. Resultados de las encuestas

### 1) Empresas:

De las empresas que han respondido la encuesta (30 en total), el 30% lleva entre 1 a 5 años en funcionamiento, el 40% de 6 a 10 años, el 20% entre 11 a 15 años, ninguna empresa fue reportada de 16 a 20 años, y finalmente solo un 3.33% eran empresas de 21 a 25 años, 26 a 30 años y de 31 a 35 años respectivamente.

Según la clasificación utilizada por [21], es considerada como microempresa si en ella tienen de 1 a 9 trabajadores, PYMEs (pequeña empresa de 10 a 49 trabajadores, mediana empresa de 50 a 199 trabajadores) y gran empresa (de 200 o más trabajadores). En relación a la empleabilidad que generan estas empresas se obtuvo que un 23.33% corresponde a micro empresas, un 53.33% a pequeña empresa, 23.33% a mediana empresa y a ninguna gran empresa.

En la Figura 1 se puede observar la participación de empresas que respondieron las encuestas por país.

En la figura se aprecia claramente un alto interés en participar de empresas chilenas (30%), colombianas (17%), peruanas (17%) y ecuatorianas (14%).

Respecto al sector productivo de donde provienen principalmente los clientes, la encuesta arrojó que pertenecen a los sectores de comercio, finanzas, comunicaciones, turismo,

educación y salud, pero es importante destacar que el campo de clientes es bastante amplio para el desarrollo de software.

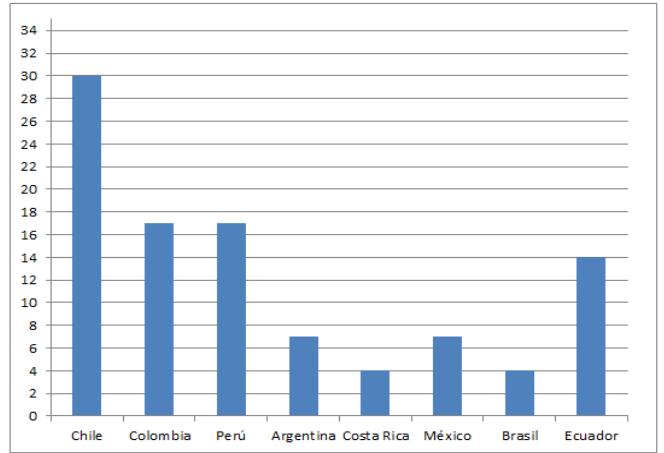


Fig. 1. Porcentaje de empresas participantes por país.

### 2) Técnicas de educación de requisitos:

Parte de este estudio está centrado en las técnicas de educación de requisitos. En el cuestionario se presenta una extensa lista de las técnicas más conocidas, donde los participantes podrían seleccionar todo lo que aplican. Como se puede observar a continuación en la Figura 2.

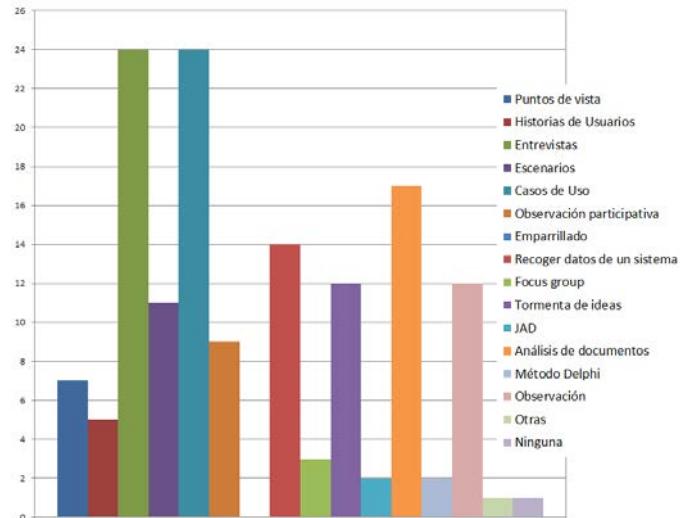


Fig. 2. Técnicas de educación de requisitos utilizadas.

Claramente se puede observar que los participantes utilizaban como preferencia las entrevistas y casos de usos en un 80%. Luego siguen el análisis de documentos con un 57%, recoger datos de un sistema existente con un 47%, tormenta de ideas y observación con un 40%.

### 3) Técnicas de modelado de requisitos:

Los requisitos o especificaciones de un proyecto se expresan en uno o más modelos. Estos modelos pueden ser desarrollados durante la educación o en fases más tardías para que los requisitos sean más completos, precisos y sin ambigüedades. En este caso se quiere conocer la notación de

modelos que se están utilizando. Los participantes podían seleccionar todos los modelos que aplican.

Los resultados de la notación de modelos de requisitos utilizados se observan en la Figura 3.

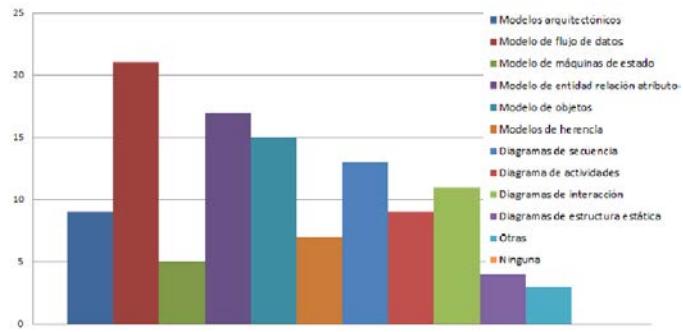


Fig. 3. Notación de modelado de requisitos utilizados.

Un 70% de los desarrolladores utilizan el modelo de flujo de datos, un 57% usan los modelos de entidad relación, finalmente, un 50% utilizan los modelos de objetos.

#### 4) Especificación de requisitos:

Sobre qué formatos o plantillas son utilizados por las empresas desarrolladoras para documentar sus requisitos, se obtuvo que un 33.3% de los participantes crearon un formato propio; el 13.3% utilizan plantillas de historias de usuarios; un 6.8% utilizan plantillas de casos de usos; un 13.3% utiliza un documento de especificación de requisitos; el 13.3% reconoce no utilizar ningún formato o plantilla.

Cabe agregar que un 10% utiliza alguna herramienta para la especificación de requisitos y otro 10% no respondió la pregunta.

#### 5) Gestión de requisitos:

Respecto a la forma en que gestionan sus requisitos, se consultó sobre el uso de herramientas utilizadas por los encuestados para manejar cambios en los requisitos del sistema. Es importante mencionar que el 20% de los encuestados reconoció no utilizar ninguna herramienta para la gestión de requisitos.

La lista de herramientas de gestión de requisitos utilizadas en las empresas encuestadas fueron: Github, Elephant, Microsoft Word, Microsoft Excel, Phpcollab, JIRA, Sys-Aid, Balsamiq, Trello.com, IceScrum, Microsoft team fundation (MS TFS), Google APP, Red Mine, Asana, YED, Podio, Microsoft Project, Enterprise architect, Matriz de trazabilidad, y Erwin.

#### 6) Metodologías de desarrollo de software:

Para saber qué metodologías de desarrollo están utilizando en la industria Latinoamérica, se preguntó en base a una lista de metodologías más conocidas en donde los participantes podían seleccionar más de una alternativa.

Como resultado el 77% de los encuestados utiliza la metodología SCRUM, un 27% utiliza Cascada, con 23% Test Driven Development (TDD), Rational Unified Process (RUP) y Espiral con un 20% respectivamente.

En la Figura 4 se puede observar la cantidad de empresas que adoptaron cada metodología.

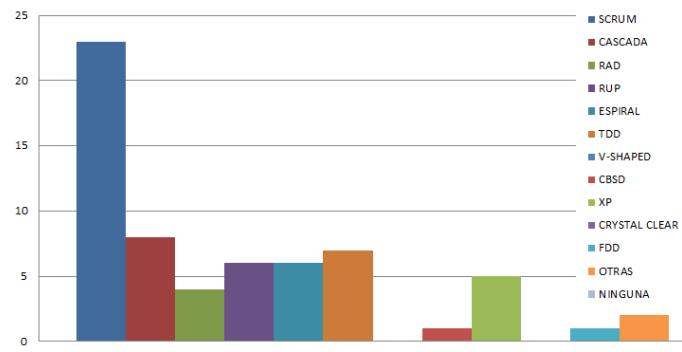


Fig. 4. Número de empresas que utilizan cada metodología.

### C. Entrevistas

Las entrevistas fueron del tipo semiestructuradas. Estas entrevistas permitieron conocer la visión y las características del entrevistado(a), las problemáticas que enfrentan en la ingeniería de requisitos, usos de técnicas, metodologías y herramientas en el desarrollo de proyectos.

Cada entrevista fue realizada por un entrevistador en el lugar de trabajo del desarrollador. Cada entrevista tuvo una duración promedio de 35 minutos y fue grabada solo con audio.

Se realizó una búsqueda en Google de empresas desarrolladoras de software en Argentina y Brasil, principalmente porque se obtuvo menor tasa de respuestas en las encuestas y por las limitaciones de presupuesto de esta investigación. En total se realizaron 5 entrevistas aplicadas entre noviembre y diciembre del año 2015.

Los participantes firmaron cartas de compromiso en donde se explica que toda información entregada solo será utilizada con fines de esta investigación y también se mantendrá en anonimato datos propios de la empresa y personas.

### D. Resultados de las Entrevistas

Se estudiaron cualitativamente las entrevistas grabadas en audio con la finalidad de verificar y contrastar con los datos obtenidos de las encuestas.

Los datos fueron organizados de acuerdo a la temática establecida (datos demográficos, IR, metodologías de desarrollo, problemas en la IR).

#### 1) Empresas:

La Tabla I expone algunos datos relativos al tamaño, antigüedad, cantidad de empleados de las empresas desarrolladoras de software entrevistadas y el sector productivo al que corresponden sus principales clientes.

#### 2) Técnicas de educación de requisitos:

En la Tabla II se muestran las técnicas que utilizan los gestores de proyectos en la educación de requisitos.

TABLE I. RESUMEN DE ENTREVISTAS EN DATOS DEMOGRÁFICOS

Empresa	Antigüedad	Cargo del entrevistado	Número de empleados	Categoría	Opiniones del sector productivo de sus clientes
E01	17	Gerente de proyecto y calidad	39	Pequeña (87.639-972.554 US\$)	Los clientes en mayoría son bancarios, e industria y prestación de servicios.
E02	11	Director ejecutivo (CEO)	13	Pequeña (87.639-972.554 US\$)	No, no tenemos un sector específico. Como hacemos desarrollo que son Cross a todas las industrias, no tenemos una industria específica.
E03	9	Director ejecutivo (CEO)	5	Micro (0.1-87.639US\$)	Lo que pasa es que nosotros tenemos mucho desarrollo a la medida, y también tenemos un producto que estamos intentando vender, el producto viene más por el lado de finanzas. Todo lo que es a medida bastante disperso.
E04	12	Jefe de desarrollo	8	Pequeña (87.639-972.554 US\$)	Hacemos todo tipo de desarrollos, pero nos quedamos mucho tiempo en el desarrollo de juegos
E05	36	Jefe de proyectos	35	Mediana (912.554,1-3.650.217 US\$)	Hay de todo, hay retail, banco, empresas de servicios, comercial, incluso cosas chicas como la botillería de la esquina

TABLE II. RESUMEN DEL USO DE TÉCNICAS DE EDUCACIÓN DE REQUISITOS SEGÚN LOS ENTREVISTADOS

Empresa	Uso de técnicas en educación de requisitos
E01	Nosotros tenemos el modelo CMMI nivel 3. Un área del proceso completa es gestión de requisitos. Entonces nosotros lo que hacemos, tenemos un proyecto ahí que se llama gestión de requisitos y propuestas, donde básicamente por cada requisito que viene del cliente levantamos dos work items, uno que es requirements y otro que es proposal. A partir de ahí, todo lo que es el alcance, funcionalidad, trabajo a realizar, lo que después nos va a dar la posibilidad de estimar esfuerzo, y después definir costos, lo manejamos en el requisito (requirements), y ya después la propuesta propiamente dicha, que tiene que ver más con la propuesta comercial, la manejamos en el otro work item.
E02	En general las entrevistas con los clientes las tomo yo, y se relevan las necesidades, una vez que se relevan dependiendo de la complejidad, tenemos proyectos que son simples y tenemos proyectos que son más complejos, cuando se trata de software o aplicaciones que se toman requisitos más formal, a veces se escriben casos de usos, después se estima, los mismos desarrolladores son los que estiman el tiempo que va a llevar el desarrollo de la solución y después se le pasa una propuesta formal al cliente. En general brainstorming lo hemos usado pero en casos muy puntuales y para proyectos ya arrancados, cuando tenemos que crear una marca o necesitas algún tipo de creatividad muy específica a un proyecto.
E03	Reunión, análisis, este, anotamos y le devolvemos el requisito para que lo acepten, más al estilo de entrevistas, anotar los puntos. Bueno, hacemos una reunión, y damos unos cuestionarios, después de eso, creamos una propuesta y se valida al cliente. Bueno, nosotros damos un valor y nos ponemos a desarrollar.
E05	El sponsor nos hace llegar la medida, hay unos templates para eso, que nosotros le entregamos y que muchas veces también ayudamos a construir el documento de requisitos porque no siempre tienen el entendimiento suficiente como para que nos hagan llegar esa información que necesitamos. Generalmente cuando llega ese documento, nosotros conversamos con ellos, tenemos reuniones de afinamiento para cerciorarnos de que estamos entendiendo bien. Voice of the customer (VOC) que es cuando se está pensando un nuevo producto, el área de marketing que es el que lo genera que hacen estudios de demanda, van donde un cliente, le presentan un producto que están pensando, pero eso es previo a la pega que viene después, cuando ya llega a nosotros es porque ya se pensó.

### 3) Técnicas de modelado de requisitos:

En la Tabla III se exponen las distintas técnicas de modelado de requisitos utilizadas por los entrevistados.

TABLE III. TÉCNICAS DE MODELADO DE REQUISITOS UTILIZADAS POR LOS ENTREVISTADOS

Empresa	Técnicas de modelado de requisitos
E01	Nosotros usamos casos de uso, diagramas de relación, diagramas de secuencias.
E02	No usamos una técnica específica
E03	Para el lado nuestro más que nada el modelado de la base de datos. Para el cliente uno pantallazos. Prototipo de pantallas. Una vez que tenemos listos los requisitos nos ponemos a desarrollar de una.

### 4) Especificación de requisitos:

A continuación en la Tabla IV se presentan las opiniones sobre las plantillas o estándares utilizadas en la especificación de requisitos en las empresas entrevistadas.

TABLE IV. RESUMEN DE PLANTILLAS O ESTÁNDARES UTILIZADOS EN LA ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS

Empresa	Plantillas o estándares de especificación de requisitos
E01	Estándar CMMI nivel 3 y todo con Visual Studio Team System 2005
E02	En este momento estamos utilizando TeamWork para gestionar el proyecto, tareas, hitos, tiempos, parte del soporte, o sea tiene una parte donde el cliente puede agregar requisitos.
E03	No usamos nada.
E04	No especifica.
E05	Con documentos específicos que nosotros hemos definidos. En ese documento se tratan de considerar de tecnologías, no solo de desarrollo, sino que de arquitectura, sistema y de QA. Vemos las mejoras de soluciones de cada uno de los puntos de vistas. Queda un documento de requerimientos del negocio en donde se describen todas esas cosas, y ese documento le llega al cliente donde el observa y al final llegamos a una versión final que eso es lo que se evalúa y digo esto, esto que demora tanto, y cuesta tanta plata.

### 5) Gestión de requisitos:

En la Tabla V podemos apreciar un resumen de las opiniones de los entrevistados sobre el uso o no de herramientas en gestión de requisitos.

TABLE V. RESUMEN DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN GESTIÓN DE REQUISITOS SEGÚN LOS ENTREVISTADOS

Empresa	Herramientas de gestión de requisitos
E01	En gestión de requisitos administro todo con Visual Studio Team System 2005, este tiene todo integrado, lo mejor es la trazabilidad, y bidireccional. Desde requisito, propuesta, hasta código fuente la cual tuviste que tocar, y para cambios lo mismo, código fuente tocado, sé a qué requisito responde.
E02	En este momento estamos utilizando TeamWork para gestionar el proyecto, tareas, hitos, tiempos, parte del soporte, o sea tiene una parte donde el cliente puede agregar requisitos. Estuvimos usando JIRA hasta hace un tiempo.
E03	No, no usamos nada, solo mails y words.
E04	Si estamos usando algunos como por ejemplo GIT-HUB. Porque nos ha pasado antes que hemos tenido información importante anteriormente y se nos ha perdido y por eso ahora somos minuciosos con el tema tenemos todos esos datos guardados, desde hace unos 8 años que realizamos este proceso.
E05	No, no, más que nada los documentos, pero la aplicación que nos permite unir toda esa cosa no, para hacerle seguimiento al proyecto sí.

### 6) Metodologías de desarrollo:

La Tabla VI presenta un resumen sobre metodologías utilizadas según los entrevistados.

## V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En relación a las metodologías utilizadas por los desarrolladores latinoamericanos, aproximadamente el 80% de ellos reconoció utilizar SCRUM, a diferencia de estudios realizados en EEUU [9] y Finlandia [7], donde indican que la metodología más utilizada es Cascada. Aunque la elección de una metodología está condicionada principalmente a la

complejidad y duración del proyecto, como señala E01: "Si el proyecto es grande, nosotros vamos por una metodología tradicional. Metodologías un poco más ágiles para proyectos más chicos".

TABLE VI. RESUMEN DE LAS METODOLOGÍAS DE DESARROLLO UTILIZADAS POR LOS ENTREVISTADOS

Empresa	Metodologías de desarrollo
E01	<i>Un proyecto en espiral generalmente lo usamos cuando un cliente no tiene idea de lo que quiere.</i> <i>Si el proyecto es grande, nosotros vamos por una metodología tradicional. Metodologías un poco más ágiles para proyectos más chicos.</i> <i>Tenemos nuestra metodología basada en CMMI.</i>
E02	<i>Utilizamos como prácticas ágiles sin tener una metodología formal.</i>
E03	<i>Dirección al desarrollo, sin documentar. No nos enfocamos en una metodología.</i>
E04	<i>Bueno, nosotros nunca implementamos una metodología formal así en la empresa, una visión bien próxima al Sprint.</i>
E05	<i>Hacemos una adaptación de una metodología de desarrollo de cascada, más tradicional. Ágiles no, pero pensamos usar Scrum.</i>

Es importante destacar que parte de las empresas entrevistadas utilizan su propia adaptación de la metodología seleccionada, ya sea tradicional o ágil.

En relación a las técnicas de educación de requisitos como resultado de las encuestas, el 80% indicó utilizar entrevistas y casos de usos. El problema reside en que al aplicar entrevistas, éstas no son utilizadas con una pauta o guía de preguntas claves para el entendimiento del campo, del sistema o de los actores. Otro problema detectado en los casos de usos es que los ingenieros de software no están tomando el tiempo necesario para describir los requisitos en profundidad. Estas fallas generan una mala interpretación de los requisitos y se debe reiniciar el proceso de educación.

Según los resultados obtenidos en las encuestas el 20% de las empresas reconocen no utilizar herramientas para gestionar los requisitos de un proyecto. Actualmente se utilizan principalmente documentos Word y Excel de forma manual, pero ya han aparecido diversas herramientas tanto para la especificación y gestión de requisitos, que tienen como objetivo mejorar la productividad y calidad en el desarrollo de proyectos de software, ya que facilitan la disponibilidad de información de distintos proyectos facilitando la reutilización de requisitos y control de cambios.

Con respecto a las entrevistas, E01 señala algunas ventajas en la herramienta que ellos utilizan, Microsoft team foundation server (M TFS): "tiene todo integrado, lo mejor es la trazabilidad, y bidireccional. Desde requisito, propuesta, hasta código fuente la cual tuviste que tocar, y para cambios lo mismo, código fuente tocado, sé a qué requisito responde".

E01 reconocen que antes, cuando no utilizaban herramientas de gestión, tenían un gran desorden, provocando mayor tiempo en el desarrollo de proyectos y cargando con más trabajo a sus empleados.

En cuanto a las deficiencias detectadas se puede indicar lo siguiente:

Respecto al *aspecto metodológico* se ha identificado una falta de formalidad en la definición de una metodología: Si bien las empresas seleccionan una metodología para el desarrollo de proyectos, ésta es modificada o adaptada

dependiendo de los requisitos de los stakeholders y no queda definida como una metodología formal propia de la empresa.

Desde el *aspecto técnico*, se detectó:

- Falta de dedicación en la especificación de requisitos: Se destina poco tiempo en la descripción funcional de la solución.
- No se realiza una desagregación completa de las tareas que se van a realizar.
- Estimación de costo: Falta de utilización de técnicas formales para estimar costos.
- Falta de uso de formatos en la educación de requisitos.

Respecto a los *Stakeholders*:

- Problemas de presupuesto: El stakeholder es reacio a pagar por un documento de especificación de requisitos.
- Entrega de contenido: El stakeholder tarda demasiado tiempo en entregar el contenido necesario para el desarrollo.
- Cambios en los requisitos: Constantes cambios en los requisitos debido a omisiones de detalles.
- Interpretación de requisitos: El stakeholder no puede expresar con claridad lo que desea.
- Cambios de requisitos cercanos a fechas límites del proyecto.

Respecto a las *Prácticas empresariales*:

- Sobrecarga de trabajo a programadores.
- No existen políticas formales para búsqueda de nuevas tecnologías.
- Preferencia de búsqueda de nuevas tecnologías en foros que en la literatura científica.
- Alta rotación de personal debido a bajos salarios especialmente en programadores.
- Demasiado tiempo en capacitar a programadores.

Con respecto a las *Herramientas*:

- Bajo uso de herramientas en gestión de requisitos y modelado de requisitos.
- Bajo interés en utilizar herramientas de gestión debido a su alto costo.

## CONCLUSIONES

La práctica empresarial del software en Latinoamérica es relativamente joven, ya que el 70% de las empresas encuestadas no supera los 10 años de funcionamiento.

Actualmente, se reconoce que el problema principal es la comunicación con los stakeholders en la fase de educación de requisitos, además de que se dedica escaso tiempo para el desarrollo de esta fase.

Con relación a las técnicas de educación, las más utilizadas son las entrevistas y casos de usos con un 80% respectivamente, pero la aplicación de un método formal de estas técnicas es escasa, lo cual de igual manera genera una toma de requisitos mal especificada.

En la práctica empresarial se requiere apoyo en las fases de especificación, validación y gestión de requisitos. Este soporte se puede encontrar en las diversas herramientas existentes en el mercado, pero la práctica empresarial no dedica demasiado tiempo para investigar sobre estas herramientas.

Como recomendación a la práctica empresarial latinoamericana se recomienda establecer políticas de mejoramiento continuo, en donde la búsqueda de información confiable sea en base de datos científica.

Como trabajo futuro se pretende realizar un contraste de la práctica industrial latinoamericana y lo que se propone en la literatura científica, para generar estrategias o guías de mejora como ayuda para mitigar las deficiencias detectadas en el estado de la práctica empresarial latinoamericana.

En esta investigación fueron consideradas 240 empresas latinoamericanas ya que no fue posible obtener el registro total de todas las empresas en los países seleccionados. Lamentablemente, debido a la escasez de tiempo y el bajo interés en responder la encuesta por parte de los participantes, solo 30 de ellos contestaron la encuesta y otras 5 empresas fueron entrevistadas. Como se utilizaron datos de una muestra no probabilística, los resultados del análisis cuantitativo no pueden ser generalizables. No obstante, es una muestra significativa para reconocer tendencias.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Fondo de Investigación de la Universidad de Atacama, Proyecto Diuda 22276.

#### REFERENCES

- [1] T. Milbaum, "What we teach software engineers in the university : do we take engineering seriously?," in software engineering — esec/fse'97, M. Jazayeri and H. Schauer (eds.), Lecture notes in computer science, pp 40-50, 1997.
- [2] B. Bruegge and A. H. Dutoit, Ingeniería de Software Orientado a Objetos. Prentice Hall, México, 2002.
- [3] D. Carrizo and J. Rojas, "Clasificación de prácticas de educación de requisitos en desarrollos ágiles: un mapeo sistemático," *Ingeniare. rev. chil. ing.*, vol. 24, no. 4, 2016.

- [4] S. Martinez, S. Arango y J. Robledo, "El crecimiento de la industria del software en colombia: un análisis sistémico," *Revista eia*, no. 23, pp. 95–106, 2016.
- [5] V. S. Hernández, "La industria del software, estudio a nivel global y américa latina," <http://es.calameo.com/read/000068238b672ae379f32>, 2006.
- [6] A. T. Lazo, L C. Benjumea, and l. ed. p. valencia, "estado del arte de la ingeniería del software en el ámbito nacional e internacional de acuerdo a organizaciones que tratan la disciplina," tesis Universidad Católica Popular del Risaralda, 2010.
- [7] U. Nikula, J. Sajaniemi and H. Kälviäinen, "A state-of-the-practice survey on requirements engineering in small- and medium-sized enterprises a state-of-the-practice survey on requirements engineering in small- and medium-sized enterprises," Tehenical Report 1, Telecom Business Research Center Lappeenranta, 2000.
- [8] I. Antonelli y A. Oliveros, "Fuentes utilizadas por desarrolladores de software en argentina para elicitar requerimientos," *V Workshop on Requirements Engineering-WER'2002*, pp. 106–116, 1-19, November 2002.
- [9] C. J. Neill and P. A. Laplante, "The state of the practice requirements engineering : the state of the practice," *IEEE Software*, vol. 20, no. 6, pp. 40-45, 2003.
- [10] A. N. Bowers, R. S. Sangwan, and C. J. Neill, "Adoption of xp practices in the industry - a survey," *Software process; improvement and practice*, vol. 12, no. 3. pp. 283–294, 2007.
- [11] L. Cao and B. Ramesh, "Agile requirements engineering practices: an empirical study," *IEEE software*, vol. 25, no. 1, pp. 60–67, 2008.
- [12] M. Kassab, C. Neill, and P. Laplante, "State of practice in requirements engineering : contemporary data," *Innovations in Systems and Software Engineering*, vol. 10, Issue 4, pp. 235–241, 2014.
- [13] W. J. Simbaña and J. G. Simbaña, "Investigación de las prácticas de la ingeniería de requisitos en las empresas de desarrollo de software de la ciudad de quito," Tesis - Carrera de Ingeniería en Sistemas e Informática, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015.
- [14] S. A. Fricker, R. Grau, and A. Zwingli, "Requirements Engineering : Best Practice," *Requir. Eng. Digit. Heal. Springer Int. Publ.*, pp. 25–46, 2015.
- [15] F. Shull, J. Singer, and K. Sjøberg, *Guide to advanced empirical software engineering*. Springer-Verlag London, 2008.
- [16] T. F. Burgess, "Guide to the design of questionnaires: A general introduction to the design of questionnaires for survey research," *Information Systems Services*, University Of Leeds, may 2001.
- [17] "Políticas de banda ancha para américa latina y el caribe: un manual para la economía digital." oecd publishing, paris, 2016.
- [18] P. Bourque and R. E. Fairley, *Guide to the software engineering - body of knowledge*. IEEE Computer Society, 2014.
- [19] I. Sommerville, *Software Engineering*. Pearson, 2011.
- [20] N. K. Malhotra, *Investigación de mercados*. Pearson Education, Inc 2007.
- [21] E. Román and J. Rojas, "El acceso de las pequeñas y medianas empresas al financiamiento y el programa nacional de apoyo a la pyme del gobierno chileno: balance preliminar de una experiencia." Serie Financiamiento del Desarrollo, No.16, 1995.

# Cardiac arrhythmia identification system based on non-supervised machine learning methods

M. Moreno-Revelo

S. Patascoy-Botina

A. Pantoja-Bucheli<sup>+</sup>

J. Revelo-Fuelagan

Universidad de Nariño

Pasto, Colombia

Email: \*moremonicare@yahoo.es

<sup>+</sup>ad\_pantoja@udenar.edu.co

J. Rodríguez –Sotelo

S. Murillo-Rendón

Universidad autónoma de Manizales

Manizales, Colombia

Email: jlrodriguez@autonoma.edu.co

smurillo@autonoma.edu.co

D. Peluffo-Ordóñez

Universidad Técnica del Norte

Ibarra, Ecuador

Email: dhpeluffo@utn.edu.ec

**Abstract**—Unsupervised pattern recognition analysis is the most used approach to grouping heartbeats of electrocardiographic recordings or electrocardiograms (ECGs). This is due to the fact that beats labeling are very often not available. Given that detection of some transient and infrequent arrhythmias is unfeasible in a short-time ECG test, ambulatory electrocardiography is required. In this paper, a design of a complete system for the identification of arrhythmias using unsupervised pattern recognition techniques is proposed. Particularly, our system involves stages for signal preprocessing, heartbeat segmentation and characterization, features selection, and clustering. All these stages are developed within a segment clustering framework, which is a suitable alternative to detect minority classes. As average performance, including five types of arrhythmia, our system reaches 91,31% and 99,16% for sensitivity and specificity, respectively.

**Keywords**—arrhythmia; clustering; database; quality measures.

## I. INTRODUCTION

Cardiac arrhythmias are heart condition alterations due mainly to the change of heart rate, generated when heart's electric conduction system works improperly [1]. Some types of arrhythmias are infrequent and transitory nature and therefore their diagnosis is not an easy task with a standard electrocardiography (ECG) exam (12-leads test). For a proper diagnosis of these types of arrhythmias, there exists an ambulatory or Holter electrocardiography test, which allows for evaluating the patient for long periods of time without interfering with the patients' daily activities [2]. Nonetheless, given the length of Holter recordings (involving a huge amount of heartbeats), computer-aided systems for supporting the diagnosis.

The automatic diagnostic consists of classifying heartbeats into groups holding heartbeats belonging to the same class (any pathology or normal). In terms of machine learning, classification can be performed by techniques from either supervised or unsupervised analysis; being the latter the most recommended [3], [4]. Because of reduces the amount of heartbeats than a cardiologist revises, unsupervised techniques

result advisable for this classification problem. Despite the existence of techniques than have been very helpful, the design of the system has a number of problems as signal noise [5], the large amount of heartbeats because of its duration [6], the minority classes [7], and the morphological variability [8].

The purpose of this paper is design a complete system for the identification of arrhythmias in Holter records, using unsupervised machine learning methods, the system design involves five stages: heartbeats preprocessing and segmentation, characterization, feature selection, evaluation of the sensibility of the number of clusters, clustering using the unsupervised method kmeans and evaluation of performance [9],[10],[11]. To characterize the heartbeats, diagnostic, morphological and spectral features that generate separability between cardiac arrhythmias are used, after that with best-first the number of features was reduced from 117 to number that depend of the record and finally the segment clustering is realized, which improves the detection of minority-class arrhythmias [12]. The tests are made over recordings 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), premature atrial beats (A), Premature ventricular contractions (V), right bundle branch block (R) and left bundle branch block (L) [13].

To provide fair comparison among methods, the quality of clustering is measured by some unsupervised clustering quality indicators as accuracy, sensitivity and specificity. As average performance, including five types of arrhythmia, our system reaches 99,36%, 91,31,74% and 99,16% for accuracy, sensitivity and specificity, respectively.

The paper has been organized in the following way. In section II, proposed heartbeat clustering is outlined. Experimental setup and results are described in Sections III and IV, respectively. Finally, Section V some final remarks as conclusions and future work.

## II. HEARTBEATS CLUSTERING

Clustering of cardiac arrhythmias is the assignment of a set of heartbeat observations into subsets or clusters so that observations in the same cluster are considered similar regarding certain descriptive patterns (features). The methods of clustering are commonly formed by the following stages: preprocessing and segmentation, characterization and clustering. Heartbeat feature set is arranged into a features matrix given by:  $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n] = [\mathbf{x}^{(1)}, \dots, \mathbf{x}^{(d)}]$ ,  $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n \times d}$ , where  $n$  and  $d$ , are the number of heartbeats and considered variables, respectively.

### A. Preporcesing and Segmentation

First, the DC level is eliminated and the signals are normalized, 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 (1):

$$\text{QRS}_j = |y(p_j) - 0.0989 * F_s: y(p_j) + 0.0989 * F_s| \quad (1)$$

Where  $p_j$  is the location of peak R of j-th beat signal and  $F_s$  is the sampling frequency in the case of the database of MIT is 360 Hz.

### B. Characterization

After eliminating the DC level and normalize the signals, the characterization is made. Table I gathers the features used in this work.

TABLE I.

FEATURES SET

Index	HRV and prematurity
$\mathbf{x}^{(1)}$	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
$\mathbf{x}^{(6)}$	Equation 2
	Morphology 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
$\mathbf{x}^{(11)} \dots \mathbf{x}^{(19)}$	First 9 Hermite-based coefficients
$\mathbf{x}^{(20)} \dots \mathbf{x}^{(101)}$	Approximation and detail coefficients wavelet db4 2
$\mathbf{x}^{(102)} \dots \mathbf{x}^{(111)}$	Variance and maximum of coefficients
$\mathbf{x}^{(112)} \dots \mathbf{x}^{(117)}$	Ratio min/max QRS, approximation and detail

$$\mathbf{x}^{(6)} = \left(\frac{\mathbf{x}^{(3)}}{\mathbf{x}^{(1)}}\right)^2 + \left(\frac{\mathbf{x}^{(2)}}{\mathbf{x}^{(1)}}\right)^2 - \frac{1}{3} (\sum_{i=0}^3 (\mathbf{x}^{(i)})^2 \log(\mathbf{x}^{(i)})^2) \quad (2)$$

With best-first, feature selection is performed. This method can start with an empty set of attributes and search forward or start with the complete set of attributes and search backward or start anywhere and look in both directions [14]. The number of features that is reduced the initial set depends registration analyzed.

### C. Cluster initialization

Once a group number is fixed, centers for each subset are initialized by using J-means and max-min algorithms [15]. For further statements, let us consider the notation the partition set of  $\mathbf{X}$ , standing for the  $j$ -th center,  $k$  as the number of groups, and  $j \in \{1, \dots, k\}$ .

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. This algorithm works as follows. After a random initialization, every point  $\mathbf{p}_i$  out of a sphere of radius  $\epsilon$  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  $\epsilon$  is chosen in such way that no intersections among spheres occurs, for that reason is a necessary condition that:

$$\epsilon < \frac{1}{2} \min \|\mathbf{q}_j - \mathbf{q}_i\|, i \neq j \quad (3)$$

conventional J-means, MSSC conditions are employed; therefore spheres are defined from distances based criteria.

2) *Max-min algorithm:* The aim of max-min algorithm is to find, into the set of data  $\mathbf{X}$ , the  $k$  elements that are further away from each other, improving the number of necessary groups to classify the classes and the convergence value. This algorithm starts with a random data point of  $\mathbf{X}$  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  $\mathbf{X}$ , and the second center  $\mathbf{q}_2$  is the data point which presents the maximum distance between  $\mathbf{q}_1$  and remaining points  $\{\mathbf{X} - \mathbf{q}_1\}$ . Since these centers, the rest of them can be obtained using the max-min criterion, as (4).

$$f(\mathbf{x}_l) = \max_{\mathbf{x}_i \in \{\mathbf{X} - \mathbf{Q}\}} \left\{ \min_{\mathbf{q}_j \in \mathbf{Q}} \|\mathbf{x}_i - \mathbf{q}_j\|^2 \right\} \quad j = 1, \dots, k \quad (4)$$

Where  $\|\cdot\|$  represents the Euclidian norm.

#### D. Segment clustering

Because of restrictions for reducing computational load, the proposed methodology is carried out by framing along the time axis the input data into  $n_s$  successive divisions of Holter recordings, where each frame is separately processed. The proper size of segments must comply the condition that the quantity of observations must exceed two times the number of features as exposed [14]. In this paper as different features set for each record is used, the number of segments also depends of the record.

#### E. Clustering

For further statements, let us consider the notation  $\mathbf{C} = \{\mathbf{C}_1, \dots, \mathbf{C}_k\}$  the  $k$ -dimensional clusters set. kmeans as clustering method is used. In this method, a start partition associated to an initial center set is chosen and their center reassessments changes, that are done to generate new partitions, are assessed per each iteration. Then, once a center is moved, all reassessments are done and the objective function change due to this movement 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 (5):

$$\mathbf{q}_l \leftarrow \frac{n_l q_l - x_i}{n_l - 1} \quad \mathbf{q}_j \leftarrow \frac{n_j q_j - x_i}{n_j - 1}, \quad (5)$$

where  $n_i = n_e(\mathbf{C}_i)$  and  $i \neq j$ .

Changes of the objective function value caused by reassessments are computed using (6).

$$v_{ij} = \frac{n_j}{n_j + 1} \|\mathbf{q}_j - \mathbf{x}_i\|^2 - \frac{n_l}{n_l - 1} \|\mathbf{q}_l - \mathbf{x}_i\|^2 \in \mathbf{C}_l \quad (6)$$

The previous equation is applied in case of MSSC objective function. In general, a specific objective function must be considered, so:

$$v_{ij} = \frac{n_j}{n_j + 1} f(\mathbf{q}_j, \mathbf{x}_i) - \frac{n_l}{n_l - 1} f(\mathbf{q}_l, \mathbf{x}_i) \quad \mathbf{x}_i \in \mathbf{C}_l \quad (7)$$

where  $f(\cdot)$  is the objective function expression corresponding to some criterion or clustering method.

Such changes are computed for all possible reassessments. 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.

#### F. Methodology

K-means is used as clustering method and performance measures as specificity and sensitivity are obtained, tests were made with random initialization and initialization J-means and

max-min. For 3 initialization methods, tests are done with different number of groups ( $k = 5, 10, 8, 12$ ). Thus the performance measures of kmeans for each of the initialization methods and for each  $k$  are obtained and the results obtained by observing that the best method is kmeans with initialization max-min and with a number of clusters equal to 12 are compared.

### III. EXPERIMENTAL SETUP

#### A. Used data bases

The following groups are considered normal-labeled heartbeat recordings (termed N), Supraventricular ectopic beat (S), Ventricular ectopic beat (V), Fusion beat (F), as well as unknown beat class (Q) is also taken into consideration. The analysis is carried out over the whole data set for the MIT/BIH arrhythmia database that holds 48 recordings each one being of about 30 minutes long. It is important to note that the recording analysis is performed one by one, and some recordings exhibit strong unbalanced number of observation per class. Namely, it can be found some recordings 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).

#### B. Quality measures

Nonetheless, 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 (8), (9), (10):

$$Se = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \quad (8)$$

$$Sp = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \quad (9)$$

$$Acc = \frac{TN+TP}{TN+TP+FN+FP} \quad (10)$$

The sensibility and specificity quantify the proportion of beatings from OC and the MC that are correctly classified, respectively.

### C. Experimental description

Figure 1 depicts the methodology proposed for Holter arrhythmia analysis that include the next stages: a) preprocessing and segmentation, b) feature estimation, c) features selection, and d) clustering.

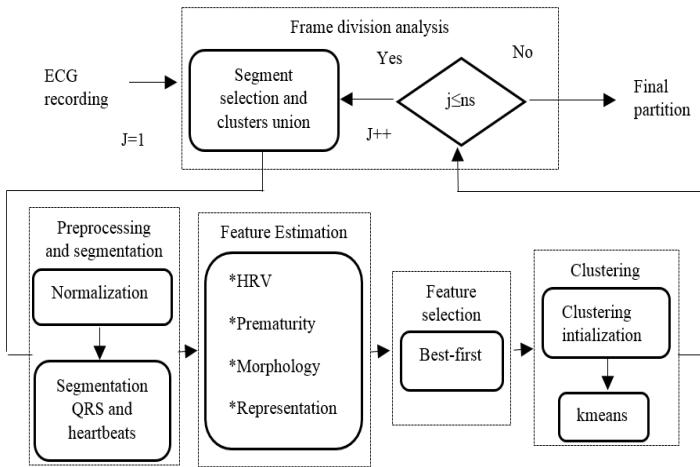


Fig. 1. Block diagram of proposed unsupervised methodology for Holter monitoring of cardiac arrhythmias.

## IV. RESULTS AND DISCUSSION

The unsupervised clustering kmeans is sensitive to the random initialization and may have better results to initialize. Max-min criterion is the one that has the highest efficiency in performance measures.

The obtained results of performance measures for some records from the database of MIT are shown in Tables 3, 4 and 5. But the average of the measurements is done on all the records in the database. It has been tested with a different number of groups ( $k$ ) but the results presented in the tables are obtained with a number of groups equal to 12 which the number of clusters is presented the best performance. The results presented in the tables are using kmeans with random initialization, J-means and max-min.

It can be appreciated that the random initialization and initialization with J-means have similar results, but with max-min improve the performance measures of sensitivity and specificity significantly. The segment clustering also helps to obtain these results, it makes the classification of beats dividing into subgroups which facilitates the identification of arrhythmias.

The tables also shows the number of beats per class. For instance, the register 202 has the beats of all types of arrhythmias and K-means with and without initialization proves to be very effective to cluster those beats as evidenced in corresponding, obtained performance measures. This record has a total number of 2142 beats, of the 117 features, best first selected 10, therefore the number of segments (ns) used is 107 which helps to get better results from the measures.

In Figures 2, 3 and 4, how the performance measures vary regarding different values of  $k$  are depicted. Particularly, experiments with  $k = 5, 8, 10, 12$  are performed, the graphs of specificity and accuracy are maintained almost constant as  $k$  varying and the sensitivity graph grows as  $k$  increases. For random initialization can see that with a  $k=5$  sensitivity has an approximate value of 51% and when it increases to 12 markedly improves obtaining an approximate value of sensitivity of 76%. For K-means with initialization J-means with  $k=5$  has a sensitivity value of 68% and setting  $k=12$  sensitivity up to a value of 87% and finally for kmeans with initialization max-min with  $k=5$  has a sensitivity value of 76% and setting  $k = 12$  sensitivity up to a value of 91%. Thus, it is confirmed that the max-min initialization is the one with the best results in performance measures which improve with increasing number of groups.

Additionally, performance measure (accuracy) value are displayed. It is important to quote that accuracy values are not given for arrhythmia type but each record.

TABLE II.

RESULTS USING K-MEANS AS CLUSTERING METHOD AND RANDOM INITIALIZATION

'Record'		'N'	'S'	'V'	'F'	'Q'	'Record'	'Acc'
100	'Beats'	2236	33	1	0	0	100	98,68
	'Se'	99,87	13,33	0			105	99,96
	'Sp'	12,9	99,87	100			114	99,89
105	'Beats'	2523	0	41	0	123	122	100
	'Se'	100		100			202	99,86
	'Sp'	99,31		100		100	234	100
114	'Beats'	1817	12	43	4	10	Average	99,73
	'Se'	100	100	97,5	50	100		
	'Sp'	96,49	100	100	100	100		
122	'Beats'	2473	0	0	0	2		
	'Se'	100				100		
	'Sp'	100				100		
202	'Beats'	2058	55	19	1	9		
	'Se'	99,95	100	88,24	0	100		
	'Sp'	97,4	99,95	100	100	100		
234	'Beats'	2697	50	3	0	10		
	'Se'	100	100	100		100		
	'Sp'	100	100	100		100		
Average-Se		99,97	78,33	77,15	25	99,82	76,05	
Average-Sp		84,35	99,955	100	100	100	96,86	

TABLE III.

RESULTS USING K-MEANS AS CLUSTERING METHOD AND J-MEANS INITIALIZATION

'Record'		'N'	'S'	'V'	'F'	'Q'	'Record'	'Acc'
100	'Beats'	2236	33	1	0	0	100	99,34
	'Se'	100	53,13	100			105	99,93
	'Sp'	54,55	100	100			114	100,00
105	'Beats'	2523	0	41	0	123	122	100,00
	'Se'	100		97,56			202	98,85
	'Sp'	98,77		100		100	234	100,00
114	'Beats'	1817	12	43	4	10	Average	99,01
	'Se'	100	100	100	100	100		
	'Sp'	100	100	100	100	100		
122	'Beats'	2473	0	0	0	2		
	'Se'	100				100		
	'Sp'	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		
234	'Beats'	2697	50	3	0	10		
	'Se'	100	100	100		100		
	'Sp'	100	100	100		100		
Average-Se		99,01	70,10	99,07	75,60	94,94	87,74	
Average-Sp		96,33	98,74	99,90	99,95	99,87	98,96	

TABLE IV.

RESULTS USING K-MEANS AS CLUSTERING METHOD AND MAX-MIN INITIALIZATION

'Record'	'N'	'S'	'V'	'F'	'Q'	'Record'	'Acc'
100	'Beats'	2236	33	1	0	100	99,60
	'Se'	99,96	75,76	100			99,96
	'Sp'	76,47	99,96	100			100
105	'Beats'	2523	0	41	0	122	100,00
	'Se'	100		97,56			99,95
	'Sp'	99,39		100			100
114	'Beats'	1817	12	43	4	Average	99,36
	'Se'	100	100	100	100		
	'Sp'	100	100	100	100		
122	'Beats'	2473	0	0	0	100	
	'Se'	100					100
	'Sp'	100					100
202	'Beats'	2058	55	19	1	91,31	
	'Se'	99,95	100	100	100		
	'Sp'	100	99,95	100	100		
234	'Beats'	2697	50	3	0	100	
	'Se'	100	100	100			
	'Sp'	100	100	100			
Average-Se		98,92	68,81	99,41	91,86	97,54	91,31
Average-Sp		97,28	98,70	99,97	99,97	99,88	99,16

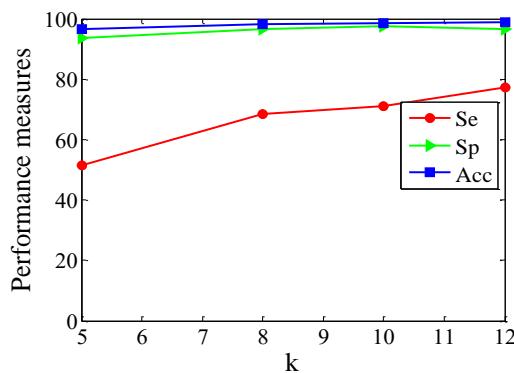


Fig. 2. Performance measures of K-means with random initialization and different k

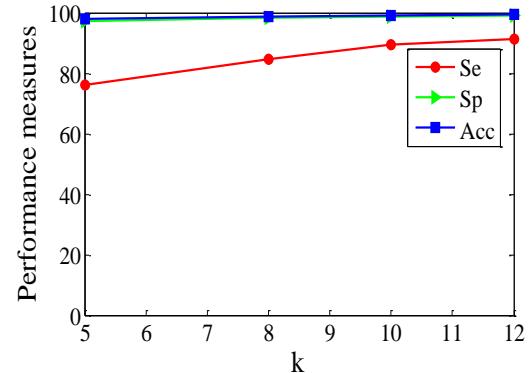


Fig. 4. Performance measures of K-means with max-min initialization and different k.

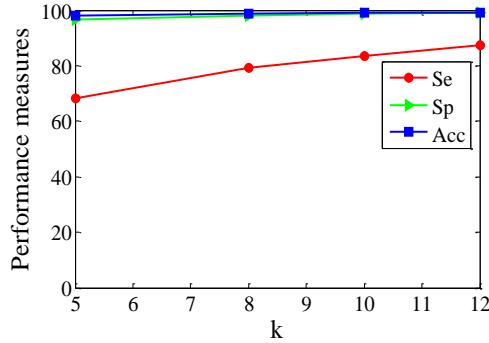


Fig.3. Performance measures of K-means with J-means initialization and different k

## V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this work, 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. Here the sensitivity of the number of clusters is evaluated as well as demonstrate the benefit of the center initialization on the clustering performance.

As future work arises to study other unsupervised clustering techniques to improve performance measures.

Also proposes working with other databases to verify the good performance of clustering method.

#### ACKNOWLEDGMENTS

Authors would like to thank to the Universidad de Nariño as well as electronic engineering and telecommunications program from Universidad Técnica del Norte.

#### REFERENCES

- [1] T. T. Khan, N. Sultana, R. B. Reza, R. Mostafa, ECG feature extraction in temporal domain and detection of various heart conditions, In Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), 2015, pp.1-6.
- [2] Chung and K. Edward. Ambulatory electrocardiography: holter monitor electrocardiography. Springer Science & Business Media, 2013.
- [3] Aggarwal, C. Charu and ChengXiang Zhai. Mining text data. Springer Science & Business Media, 2012.
- [4] C. Carreiras, A. Lourenço, H. Aidós, H. P. da Silva, and A. L. N. Fred. Unsupervised Analysis of Morphological ECG Features for Attention Detection. Springer International Publishing, 2016, pp. 437–453.
- [5] V. Bhateja, S. Urooj, R. Mehrotra, R. Verma, A. Lay-Ekuakille, and V. D. Verma. A Composite Wavelets and Morphology Approach for ECG Noise Filtering. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 361-366.
- [6] G. Baechler, N. Freris, R. F. Quick, and R. E. Crochiere, Finite rate of innovation based modeling and compression of ECG signals. in 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2013, pp. 1252-1256.
- [7] G. de Lannoy, D. Francois, J. Delbeke, and M. Verleysen. Weighted Conditional Random Fields for Supervised Interpatient Heartbeat Classification. IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 59, 2012, pp. 241-247.
- [8] M. Kania, H. Rix, M. Fereniec, H. Zavala, D. Janusek, T. Mroczka, R. Maniewski, The effect of precordial lead displacement on ECG morphology, Medical & biological engineering & computing, vol. 52, 2014, pp. 109-119.
- [9] M. K. Senapati, M. Senapati, and S. Maka. Cardiac Arrhythmia Classification of ECG Signal Using Morphology and Heart Beat Rate. in 2014 Fourth International Conference on Advances in Computing and Communications, 2014, pp. 60-63.
- [10] R. J. Martis, U. R. Acharya, and H. Adeli. Current methods in electrocardiogram characterization. Comput. Biol. Med, vol. 48, 2014, pp. 133-149.
- [11] Y.-H. Chen and S.-N. Yu. Selection of effective features for ECG beat recognition based on nonlinear correlations. Artif. Intell. Med, vol. 54, 2012, pp. 43-52.
- [12] C. Can Ye, B. V. K. V. Kumar, and M. T. Coimbra. Heartbeat Classification Using Morphological and Dynamic Features of ECG Signals. IEEE Trans. Biomed. Eng, vol. 59, 2012, pp. 2930-2941.
- [13] R. J. Martis, U. R. Acharya, and L. C. Min, ECG beat classification using PCA, LDA, ICA and Discrete Wavelet Transform, 2013.
- [14] B. Kavitha, S. Karthikeyan and B. Chitra. Efficient intrusion detection with reduced dimension using data mining classification methods and their performance comparison. En Information Processing and Management. Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 96-101.
- [15] M. E. Celebi, H. A. Kingravi, and P. A. Vela. A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm. Expert Syst. Appl, vol. 40, 2013, pp. 200-210.

# Multi-Labeller classification Method based on Mixture of Classifiers and Genetic Algorithm Optimization

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

Ivan D. Gustin, Mauricio Bolaños L.,

Dario F. Fajardo F.

Universidad de Nariño

Calle 18 No. 42

Pasto, Colombia

E-mail: arciandres@gmail.com, deivy311@hotmail.com fguasmayan@umariana.edu.co,

Ivanfly.92@gmail.com, arciandres@gmail.com,

dario@udenar.edu.co

Fredy Guasmayán G.,

María J. Bravo

Universidad Mariana

Calle 18 No. 34-104

Pasto, Colombia

E-mail:

mabravo@umariana.edu.co

Diego H. Peluffo-Ordoñez

Universidad Técnica del Norte

Universidad Cooperativa de Colombia

Calle 18 No. 42

Pasto, Colombia

E-mail: dhpeluffoo@unal.edu.co

**Abstract—** This work presents a new method proposal applied to Multi-Labelers scenarios. This is a situation where labelling individuals in a set of data based on certain characteristics in the process of determining labels to individuals in a set of data based on certain characteristics. Our approach consists in processing a Support Vector Machine classifier to each labelers substantiated on his answers. We formulate a genetic algorithm optimization to obtain a set of weights according to their opinion, in order to penalize each panelist. Finally, their resulting mappings are mixed, and a final classifier is generated, showing to be better than majority vote. For experiments, the well-known Iris database is handled, with multiple simulated artificial labels. The proposed method reaches very good results compared to conventional multi-labeler methods, able to assess the concordance among panelists considering the structure data.

**Keywords—** Multi-labeler, multicriteria optimization, genetic algorithm, Gaussian distribution, support vector machine.

## I. INTRODUCTION

Typically, the approaches of pattern recognition, based on supervised classification, require previous knowledge that takes into account a structure of labels, given by an unique expert or assessor. However, there are scenarios where information is assessed by multiple experts. That is to say, the characteristics of the data itself not only require supervision but also a range of opinions, so that its analysis obtains validity [1]. Some examples of these cases might be a group of specialists in the diagnosis of the pathology of a patient with specialized equipment [2] or the evaluation of the academic performance of a student [3]. In this type of scenario, where data is exposed to multiple interpretations, several factors that directly affect the adequate analysis of the information must be addressed. Among them, the inaccurate evaluation provided by the labelers that prevent a correct revision of the information. Therefore, it is necessary to find strategies that enable the reduction of the influence of the mistaken labels in relation to the real ones or the ground truth. The analysis of multiple experts focuses on the compensation of the negative effect of the mistaken labels. The mentioned compensation can improve the

learning process in terms of factors of penalization or quantifying the efficiency of the evaluators [1] [4]. In particular, the support vector machines (SVMs) have shown to be a suitable alternative to approach this problem, mainly due to their versatility in regards to supervised classification [1]. In this paper, a new strategy for data classification contained inside an approach of multiple labelers is presented. The final classification is carried out using a variety of classifiers trained through the intervention of each labeler. Our method establishes a vector of decision variables that satisfies the restrictions and optimizes a function of vector whose elements represent the objective functions, as it generates values of decision in relation to the labelers.

The approach suggested initially provides a multi-objective criterion that, based on the functions generated by the labelled sets, estimating their respective optimal values with which the corresponding weighting values are generated. Finally, the combination of classifiers whose properties are established by means of the functions of cost and the factors of weighting aforementioned are carried out. The strategy proposed is evaluated on the database *IRIS* of the UCI learning machine. Label vectors are created entering in them, different noise percentages in relation to the vector designated as ground truth. N different experiments with m iterations were conducted to prove the stability of this approach, our multi-labeler method accomplishes quite good results and stands for an efficient alternative in regards to conventional approaches.

The outline of this paper is as follows: Relevant related works are described in Section II. Section III explains the methods used in the proposed weighted Multi-labeler classification. Experimental results are shown in section IV. Finally, section V draws the conclusions and final remarks.

## II. RELATED WORKS AND BACKGROUND

Many approaches to deal with multi-labeler problems are formulated within support-vector-machines (SVM) frame-works, due to its versatility and outstanding performance in several applications. For instance, a bi-class multi-labeler classifier (BMLC) is introduced in [5]. It starts from the simplest formulation

for a bi-class or binary SVM-based classifier. Let us define the ordered pair  $\{\mathbf{x}_i, \bar{y}_i\}$  to denote the  $i$ -th sample or data point, where  $\mathbf{x}_i$  its  $d$ -dimensional feature vector and  $\bar{y}_i \in \{1, -1\}$ , is its binary class label. All feature vectors can be gathered into a  $N \times d$  data matrix  $\mathbf{X}$  such that  $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N]^\top$ , considering a data set of  $N$  samples, whereas labels into a labeling vector  $\bar{\mathbf{y}} \in \mathbb{R}^m$ . Consider  $k$  labelers or labeling vectors  $\{\mathbf{y}^{(1)}, \dots, \mathbf{y}^{(k)}\}$  as well. That said, there are some approaches to estimate the labeling vector  $\bar{\mathbf{y}}$ , which is a reference vector to be determined. By calculating the simple average as done in [6], for instance. We assume a latent variable model in the form:  $e_i = \mathbf{w}^\top \mathbf{x}_i + b = \langle \mathbf{x}_i, \mathbf{w} \rangle + b$  to pose the classifier's objective function, where  $\mathbf{w}$  is a  $d$ -dimensional vector,  $b$  is a bias term and notation  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  stands for Euclidean inner product. As can be readily noted, vector  $\mathbf{e} = [e_1, \dots, e_m]$  results from a linear mapping of elements of  $\mathbf{X}$ , which is a hyperplane, from a geometrical point of view, and can thus be seen as a projection vector. By design, if assuming  $\mathbf{w} \in \mathbb{R}^d$  as an orthogonal vector to the hyperplane, projection vector can be used to encode the class assignment by a decision function in the form  $\text{sign}(e_i)$ . Alternatively, projection vector can be expressed in matrix terms as  $\mathbf{e} = \mathbf{X}\mathbf{w} + b\mathbf{1}_m$ , being  $\mathbf{1}_m$  an  $m$ -dimensional all ones vector.

In addition, the distance between the hyperplane and any data point can be constrained to be at least 1 by fulfilling the condition  $\bar{y}_i e_i \geq 1, \forall i$ , in order to avoid that data points lie in an ambiguity region for the decision making. The distance between hyperplane  $\mathbf{e}$  and data point  $\mathbf{x}_i$  can be calculated as:  $d(\mathbf{e}, \mathbf{x}_i) = \bar{y}_i e_i / \|\mathbf{w}\|^2$ , where  $\|\cdot\|$  denotes Euclidean norm. Therefore, since the upper boundary of  $d(\mathbf{e}, \mathbf{x}_i)$  is  $1/\|\mathbf{w}\|^2$ , one expect that  $\bar{y}_i \approx e_i$ . Then, the classifier objective function to be maximized can be written as:  $\max_{\mathbf{w}} \bar{y}_i e_i / \|\mathbf{w}\|^2; \forall i$ . Consequentially, we can write the problem, for accounts of minimization, so:  $\min_{\mathbf{w}} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2$ , s. t.  $\bar{y}_i e_i = 1, \forall i$ . Notice that previous formulation is attained under the *hard* assumption that  $\bar{y}_i = e_i$ , and can then be named as hard-margin SVM. By relaxing it, and by adding slack terms, a soft-margin SVM (SM-SVM) can be written as:

$$\min_{\mathbf{w}, \xi} f(\mathbf{w}, \xi | \lambda) = \min_{\mathbf{w}, \xi} \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \xi_i^2 \quad \text{s. t. } \xi_i \geq 1 - \bar{y}_i e_i, \quad (1)$$

Where  $\lambda$  is a regularization parameter and  $\xi_i$  is a slack term associated to data point  $i$ .

**Binary approach:** Aimed at designing a multi-label classifier, in [4], [5], the SM-SVM given in equation 1 is modified by adding penalty factors  $\theta_j$   $j=1$  and computing  $\bar{\mathbf{y}}$  as the average of the set of the labeling vectors. This factor is intended to make  $f$  increases when adding wrong labels otherwise  $f$  should not or insignificantly decrease. In other words, consider a set of  $k$  labelers or panelists who singly provide their corresponding labeling vectors. Then, the  $j$ -th panelist's quality is quantified by the penalty factor  $\theta_j$ . Accordingly, with the penalty factors  $\theta$  being included, a new binary classification problem is introduced by modifying problem stated in 1, as shown in [5]. As explained, the solution of this problem is accomplished by a primal-dual formulation.

**Multi-class approach:** Using a one-against all strategy, another work [7], naturally extends this approach to multiclass scenarios. This approach consists basically of building a number of SVM models -one per class. A multi-class approach is

accomplished by applying  $c$  times the BMLC approach. In general, in case of using SVM-approaches, class  $c$  is compared with the remaining ones in such a way that it is matched with a positive label, meanwhile the others with a negative label [8]; so that a binary labeling vector per each single class is formed. Concretely, the labeling reference vector  $\bar{\mathbf{y}}^{(\ell)}$  associated to class  $\ell$  is assumed as a binarized version of labeling vector, as explained in [7]. In this sense, the BMCL is generalized to deal with more than two classes. Consequently, the decision hyperplanes are given by  $\{e_1^{(\ell)}, \dots, e_i^{(\ell)}\}$ , where  $\mathbf{e}^{(\ell)} = \mathbf{X}\mathbf{w}^{(\ell)} + b^{(\ell)}\mathbf{1}_m$ .

### III. PROPOSED MULTI-LABELER CLASSIFICATION APPROACH

Unsupervised analysis covers all methods denominated as discriminative, which does not require a priori knowledge of the classes for classification. They usually require only one initialization parameter, like the number of resulting groups or any other indication about the initial partition. Then, the unsupervised analysis task is grouping homogeneous patterns without any information about the nature of classes present in the dataset. For this reason, the analysis does not generate unsupervised automatic classification, but generate a homogeneous subset of data from some criterion based on distances, dissimilarities or statistical measures. Hence, the term of unsupervised classification refers to the grouping of data into subsets of similar elements and not some sort of automatic classification. There are several reasons why unsupervised methods are of special interest: converge quickly and they keep good performance if the characteristics change little over time, allowing categorizing items; they are useful when labeling a large set of samples is not feasible, among others. However, the solution generated by an unsupervised analysis system can be affected by factors such as inadequate initial parameters, which might generate a bad convergence, as explained in [9].

#### A. Multi-labeler approach

Our approach may result appealing since it is easy to solve by means of a quadratic programming search, given the form of the dual formulation. However, as BMLC, solution is highly dependent on the chosen reference vector  $\bar{\mathbf{y}}$  as well as a no new coordinate axis is provided since only one vector  $\alpha$  is yielded. Furthermore, to design a multi-labeler approach from this formulation, the quadratic problem should be solved  $k$  times (one per labeler). Instead, we propose to perform a mixture of classifiers. Let us define  $f^{(j)}(\mathbf{X})$  the trained cost function by using the labels given by the labeler  $j$ . Then, in order to take advantage of the information of the whole set of labelers, we propose a classifier whose cost function is the following mixture:

$$\bar{f}(\mathbf{X}) = \sum_{j=1}^k \eta_j f^{(j)}(\mathbf{X}) \quad (2)$$

Where  $\eta_j$  are the weighting factors to be defined.

#### B. Grouping based on centroids

The general idea of grouping based on centroids, is to minimize or maximize an objective function, which defines how good the solution pooling is. To achieve this, we use a method based on Gaussian Expectation Maximization, commonly used in clustering applications [10]. A generalized way to perform this grouping may

be obtained by studying the proportion or degree of belonging of an element to a group, and the influence of each element in the centroid's updating. And the resulting partition for each iteration corresponds to the allocation of the subset elements whose centroid is nearest. Variants of these algorithms consist on changes of the objective function and therefore the update function centroids.

### 1) Gaussian Expectation maximization Mixture: (GEMM)

It is part of clustering methods based on probability density (DBC) and its objective function is the linear combination of Gaussian distributions centered in the centroids of each group, as follows:

$$GEMM_{log}(\mathbf{X}, \mathbf{C}) = - \sum_{i=1}^c \log \left( \sum_{j=1}^k p(\mathbf{x}_i | \mathbf{q}_i) p(\mathbf{q}_j) \right), \quad (3)$$

Where  $p(\mathbf{x}_i | \mathbf{q}_i)$  is the probability of  $\mathbf{x}_i$  since it is generated by a Gaussian distribution centered in  $\mathbf{q}_j$ ,  $p(\mathbf{q}_j)$  is the probability a priori of the group whose centroid is  $\mathbf{q}_j$ .

Another alternative to compute the objective function is by using an exponential operator:

$$GEMM_{exp}(\mathbf{X}, \mathbf{C}) = - \sum_{i=1}^c \exp \left( \sum_{j=1}^k p(\mathbf{x}_i | \mathbf{q}_i) p(\mathbf{q}_j) \right), \quad (4)$$

When the estimated set of these probabilities present an elevated dispersion, the method with the logarithm function is used, as it segments the extraction of classification results, through the estimation of each distribution peak, maximizing the plausibility of each annotator; When the dispersion is low, the method with the exponential function should be used, which is a more aggressive method, as it segments the evaluation results in a more specific region. The minus sign is fixed in order to set a minimization operation with the objective function. The respective membership functions of each element are:

$$m_{GEMM}(\mathbf{q}_j | \mathbf{x}_i) = \frac{p(\mathbf{x}_i | \mathbf{q}_j) p(\mathbf{q}_j)}{p(\mathbf{x}_i)}, \quad (5)$$

Notice that the membership function is a probability value, thus Bayes' rule can be used to calculate its value, considering  $p(\mathbf{x}_i)$  as evidence:

$$p(\mathbf{x}_i) = \sum_{j=1}^k p(\mathbf{x}_i | \mathbf{q}_j) p(\mathbf{q}_j) \quad (6)$$

$p(\mathbf{x}_i | \mathbf{q}_j)$  factor can be obtained easily with:

$$p(\mathbf{x}_i | \mathbf{q}_j) = \frac{1}{\det(\Sigma_j)^{\frac{1}{2}}} (2\pi)^{-\frac{d}{2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}_i - \mu_j)^T \Sigma_j^{-1} (\mathbf{x}_i - \mu_j)}, \quad (7)$$

Where  $\mu$  is the centroid ( $\mu = \mathbf{q}_j$ ),  $d$  is dimension,  $\Sigma$  represent the covariance and  $\det(\cdot)$  denotes the matrix determinant argument.

Objective functions to be minimized are given by:

$$F_{exp} = - \sum_{i=1}^c \exp(p(\mathbf{x}_i)), \quad (8)$$

$$F_{log} = - \sum_{i=1}^c \log(p(\mathbf{x}_i)), \quad (9)$$

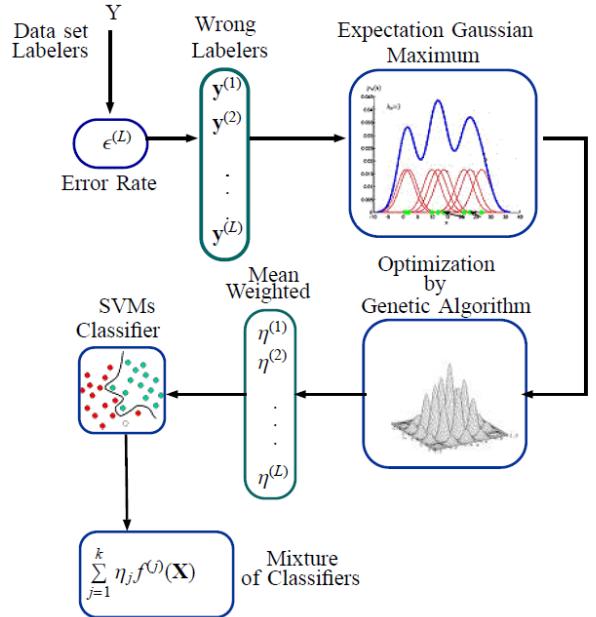


Figure 1: Process Diagram of Multi-labeler approach

### C. Genetic algorithm for weights estimation

For estimation of weights for pattern classification, a genetic algorithm is chosen. It solves iteratively the optimum values for the weights in a multi-criteria objective function, depicted in 6, which consists in maximizing the sum of the Gaussian distribution for each labeler in every object to be classified, and also taking into account the probability a priori of each Gaussian distribution. For this purpose, the Pareto optimization method is used [11]. A Gaussian distribution function is generated for each class, labelled by each expert. And for each resulting classification, an objective function is generated to be optimized. In Figure 1, the process diagram of the proposed approach is depicted. To achieve better results, according to the dispersion of each classifier's outcome, the objective functions in 8 and 9, are subject to:

$$\sum_{j=1}^k \eta_j = 1, \quad (10)$$

Where  $\eta_j \in [0, 1]$

## IV. RESULT AND DISCUSSION

**Database:** Open Iris flower database, extracted from UCI repository [12] is considered for experiments. Three different types of flowers are contained, with fifty samples each: Versicolor, Virginica and Setosa. For each sample, four characteristics were registered: width and length of petal and sepal. Moreover, there is

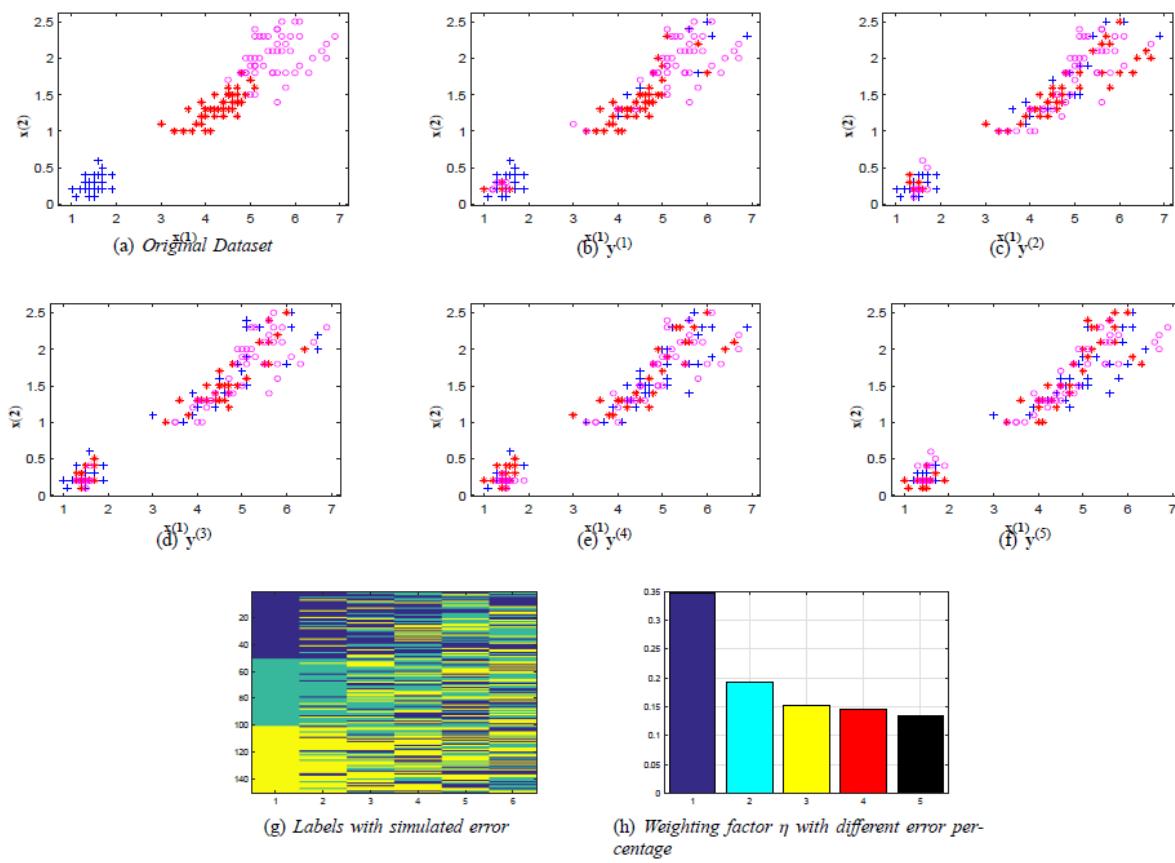


Figure 2: Generated Data and artificial Labelers for Experiment No. 5. Feature 1 is Petal length, and Feature 2 is Petal width. Scatter plots are displayed for *Ground Truth* and the five labelers.

A linearly separable class, and the two classes left are overlapped. The results presented here take into account petal length and width only. Different labels from several annotators are simulated and built using this database, in order to show the method effects and characteristics. Data matrix is normalized so that its maximum value per column be 1, before carrying out the classification procedures.

**Methods:** As reference methods, we consider the average and the majority vote of the given labeling vectors.

**Parameter settings:** To perform our multi-labeler approach, we use a multi-objective optimization with a genetic algorithm, with a random weights restricted between 0 and 1, as shown in equations (10)(11); a size of 20 individuals, and stopping criterion given by a tolerance of 0.01% error; tournament selection and 5% mutation rate.

**Performance measures:** Conventional measures are used to quantify the performance of the considered multi-labeler approaches, such as: standard error, statistic mean and margin of error. Cohen's Kappa Index is also used in this work to evaluate the agreement relation between annotators. It is calculated considering the equal labeled individuals by the experts, where a total agreement equals a Kappa index of 100%, and no agreement at all, a Kappa index of 0%.

**Experiments:** Simulated annotators with different percentages of error in their labels are generated to evaluate the efficiency of the method. The process is iterated thirty time s in order to reach the stability of the approach. Five cases are depicted, with different induced error rates in the annotator. Noise of data in labeling vectors are completely random, and, in order to try the accuracy of the method, error rates in each annotator were chosen in several different quantities. The assigned weights  $\eta$  are presented in Table II. These values were used in the experiments below, and are associated to the 'Proposed method' column in Table I, where the general results are depicted.

The agreement between labelers in Table II are shown by Kappa Index calculations. In experiment 4, although the error rate is the same for all labelers, it is hardly expected that they share labels in common, so the Kappa index is very low. In experiment 2, as all labelers have a low error rate unlike fourth one, it is very likely that they have many choices in common. Thus, Kappa index is higher respect to the other cases. When the index presents a high value, it is expected that the standard deviation between the  $\eta$  values for an experiment is low, and the annotators will be probably right, at least most of them, as shown in experiment 2. Nevertheless, a low value of this index implicates a higher level of disagreement between labelers, and that does not give much information about the accuracy of the method. This index should be taken into account only if presents high values.

Table I: Performance results in terms of error percentage  $\epsilon$  of wrong classifications.

Experiment	$y^{(1)}$	$y^{(2)}$	$y^{(3)}$	$y^{(4)}$	$y^{(5)}$	Method(log)	Method(exp)	Average	Majority vote
1	10	20	30	40	50	$2.22 \pm 0.36$	$3.27 \pm 1.05$	$6.50 \pm 0.64$	$6.05 \pm 0.56$
2	20	40	60	80	100	$5.56 \pm 1.55$	$8.67 \pm 2.20$	$15.55 \pm 2.02$	$23.72 \pm 1.95$
3	20	50	60	55	65	$2.42 \pm 1.59$	$9.02 \pm 2.25$	$10.11 \pm 2.09$	$20.16 \pm 2.02$
4	70	20	25	30	20	$4.33 \pm 0.57$	$5.44 \pm 1.81$	$7.44 \pm 0.72$	$8.83 \pm 0.79$
5	30	45	60	75	90	$2.22 \pm 1.75$	$18.88 \pm 4.55$	$23.11 \pm 1.36$	$25.56 \pm 1.85$
6	60	60	60	60	60	$15.77 \pm 5.97$	$11.57 \pm 4.1$	$28.94 \pm 2.86$	$23.94 \pm 2.64$
7	5	5	5	5	5	$3.51 \pm 0.37$	$2.18 \pm 0.9$	$5.6 \pm 0.58$	$6.66 \pm 2.64$

Table II: Weight  $\eta$  values (exp)

% $\eta$	$y^{(1)}$	$y^{(2)}$	$y^{(3)}$	$y^{(4)}$	$y^{(5)}$	Kappa Index
Experiment 1	$65.04 \pm 4.23$	$16.25 \pm 1.35$	$9.14 \pm 2.05$	$5.83 \pm 1.54$	$3.72 \pm 1.13$	$2.4 \pm 0.82$
Experiment 2	$60.54 \pm 5.59$	$16.67 \pm 4.27$	$13.10 \pm 7.52$	$5.38 \pm 1.68$	$4.29 \pm 1.21$	$2.1 \pm 0.92$
Experiment 3	$60.52 \pm 7.21$	$16.29 \pm 7.19$	$8.3 \pm 1.16$	$10.36 \pm 3.49$	$4.51 \pm 0.86$	$8.1 \pm 1.2$
Experiment 4	$3.07 \pm 0.72$	$27.62 \pm 3.85$	$15.77 \pm 3.09$	$17.3 \pm 4.52$	$36.34 \pm 5.96$	$21.0 \pm 1.4$
Experiment 5	$48.25 \pm 6.35$	$13.42 \pm 2.57$	$14.43 \pm 2.97$	$7.99 \pm 1.79$	$14.72 \pm 3.75$	$3.5 \pm 0.8$
Experiment 6	$17.61 \pm 3.13$	$21.13 \pm 2.74$	$2.17 \pm 1.86$	$24.85 \pm 4.96$	$24.22 \pm 6.77$	$2.0 \pm 0.54$
Experiment 7	$16.48 \pm 2.57$	$19.09 \pm 3.04$	$14.82 \pm 2.99$	$22.02 \pm 5.27$	$27.57 \pm 5.27$	$2.0 \pm 0.54$

Table III: Weight  $\eta$  values (log)

% $\eta$	$y^{(1)}$	$y^{(2)}$	$y^{(3)}$	$y^{(4)}$	$y^{(5)}$
Experiment 1	$57.76 \pm 7.02$	$21.58 \pm 5.78$	$7.36 \pm 1.5$	$4.85 \pm 1.22$	$8.42 \pm 2.81$
Experiment 2	$57.48 \pm 6.7$	$26.72 \pm 2.52$	$5.27 \pm 2.33$	$5.99 \pm 1.85$	$4.52 \pm 1.73$
Experiment 3	$63.68 \pm 7.05$	$13.56 \pm 2.15$	$6.03 \pm 1.38$	$7.13 \pm 1.69$	$9.57 \pm 3.56$
Experiment 4	$7.38 \pm 1.67$	$26.9 \pm 5.85$	$16.78 \pm 3.44$	$16.19 \pm 3.70$	$32.73 \pm 4.43$
Experiment 5	$46.44 \pm 8.37$	$28.36 \pm 5.48$	$8.63 \pm 1.56$	$7.07 \pm 1.85$	$9.48 \pm 4.5$
Experiment 6	$18.31 \pm 6.34$	$17.58 \pm 2.56$	$16.48 \pm 2.95$	$23.72 \pm 1.79$	$23.8 \pm 3.74$
Experiment 7	$15.7 \pm 3.94$	$18.03 \pm 5.15$	$15.19 \pm 4.14$	$31.39 \pm 9.77$	$19.66 \pm 5.99$

Figure 2 depicts generated data used for the second experiment. Figure 2(a) shows the original labels in the three classes. From Figure 2(b) to 2(f), the corrupt individual error data is shown for the five annotators. The misplaced labels can be noticed based on the colors of the classes. In Figure 2(g), contaminated labels are shown in a clearer way. Figure 2(h) shows the values of  $\eta$  for each annotator, representing the associated weight value. The classification accuracy in terms of percentage of wrong classifications is presented in Table I. The error rate is decreased for all cases using the proposed method. As the approach assigns different weights to the annotators based on their certainty, the result error rate, compared with the other methods, is lower as the variation of the error in the labelers increases.

**Experiment 1:** In this case, the classifiers mixture with error percentage in the range of 10 percent in upward way until 50 percent is shown. In Tables II and III, weights for each labeler seen in Experiment 1 are corresponding with the error percentage shown in the Table I.

**Experiment 2:** This is a similar case to the experiment 1, but in a wider range. The proposed method gives more importance in the mixture of classifiers to that labelers whose error rates are lower. These are  $y^{(1)}$  and  $y^{(2)}$ , so the improvement respect to other methods is shown.

**Experiment 3:** The first annotator  $y^{(1)}$  has the lower error rate in this case, unlike the others, surpassing the first one for at least 30%. In this case, it is observed that the weight  $\eta$  associated to that first annotator is higher, so his opinion will be more relevant in the mixture process. Thus, the performance of the

mixture of classifiers will improve in the proposed method as the worse annotators are not as considered as the first one.

**Experiment 4:** Unlike last experiment, the first annotator  $y^{(1)}$  has now the higher error rate, with a 70%. The other labelers have a maximum of 30%. It is expected that the weight  $\eta$  of  $y^{(1)}$  is lower, so his opinion will be proportionally ignored in the mixture process.

**Experiment 5:** Ascending error rate values are evaluated in this case, from 30% to 90%, 15 by 15. As a general high error is presented among the annotators, it is expected that the final error is relatively high as well. An outstanding performance of the proposed method is evidenced, where a total error avoidance is accomplished.

**Experiment 6:** The case of same error rates in all labelers is assessed. The weight  $\eta$  is the same for each annotator, so the improvement in the results is slightly better.

**Experiment 7:** This is a similar case to the last one, but with a lower general error rate. The method with the exponential function, shown in equation (4), presents better results than the rest of the methods, as expected.

An accomplishment of this work is the clear recognition of the best labelers, with only the natural structure of data. A general improvement is evidenced in the quality measures in every experiment performed, compared with the other conventional methods. We highlight the relevance of assigning weight to the opinions of the experts.

## V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

We proved experimentally that the proposed approach is capable of quantifying the confidence of a set of reliable labels,

taking into account the given information by a group of experts and the variation in the natural structure of the data. In general, the use of this multi-labeler strategy provides a significant improvement in the classifiers design in comparison to the single-labeler approach. In addition, the proposed method has the capability of reducing the influence of wrong labelers establishing penalties and punishing to these bad experts, keeping a good performance in comparison with conventional methods. For future work, we are aiming to explore different alternatives for optimization procedures, to find more suitable penalty values that allow to identify bad annotators in a clearer way, and reduce their relevance. We are aiming also to explore different data sets and multi-labeler cases to apply and improve the algorithm.

## REFERENCES

- [1] O. Dekel and O. Shamir, "Good learners for evil teachers," in *Proceedings of the 26th annual international conference on machine learning*. ACM, 2009, pp. 233–240.
- [2] Y. Yan, G. M. Fung, R. Rosales, and J. G. Dy, "Active learning from crowds," in *Proceedings of the 28th international conference on machine learning (ICML-11)*, 2011, pp. 1161–1168.
- [3] O. Dekel, C. Gentile, and K. Sridharan, "Selective sampling and active learning from single and multiple teachers," *The Journal of Machine Learning Research*, vol. 13, no. 1, pp. 2655–2697, 2012.
- [4] S. Murillo, D. Peluffo, and G. Castellanos, "Support vector machine-based approach for multi-labeler problems," in *European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning*, 2013.
- [5] S. Murillo-Rendón, D. Peluffo-Ordonez, J. D. Arias-Londono, and C. G. Castellanos-Domínguez, "Multi-labeler analysis for bi-class problems based on soft-margin support vector machines," in *Natural and Artificial Models in Computation and Biology*. Springer, 2013, pp. 274–282.
- [6] O. Dekel, "From online to batch learning with cutoff averaging," in *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2009, pp. 377–384.
- [7] D. H. Peluffo-Ordoñez, S. M. Rendón, J. D. Arias-Londono, and G. Castellanos-Domínguez, "A multi-class extension for multi-labeler support vector machines," in *ESANN*, 2014.
- [8] C.-W. Hsu and C.-J. Lin, "A comparison of methods for multiclass support vector machines," *Neural Networks, IEEE Transactions on*, vol. 13, no. 2, pp. 415–425, 2002.
- [9] D. H. Peluffo-Ordonez, J. L. Rodriguez-Sotelo, and C. G. Castellanos-Domínguez, "Estudio comparativo de métodos de selección de características de inferencia supervisada y no supervisada," 2009.
- [10] G. Hamerly and C. Elkan, "Alternatives to the k-means algorithm that find better clusterings," in *Proceedings of the eleventh international conference on Information and knowledge management*. ACM, 2002, pp. 600–607.
- [11] K. Deb, *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*. John Wiley & Sons, 2001, vol. 16.
- [12] M. Lichman, "UCI machine learning repository," 2013. [On line]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml>

# Modelo de gestión de información basado en e-business para procesos de procura.

## Information management model based on E-business for procurement processes.

Eddybelleth Yemala Castillo  
 Escuela de Software  
 Universidad Iberoamericana del Ecuador,  
 UNIBE. Quito, Ecuador  
 ycastillo@unibe.edu.ec

Gerardo Herrera  
 Dirección de Tecnología Avanzada  
 Universidad de Carabobo, UC  
 Valencia, Venezuela  
 gherrera2k1@gmail.com  
 Carrera de Sistemas de Automatización  
 Instituto Tecnológico El Pacífico, ITP  
 Quito, Ecuador  
 gherrera@tecnologicopacifico.edu.ec

Deivis Laya  
 Analista de programas.  
 Vauxoo  
 Caracas, Venezuela  
 deivislaya@gmail.com

**Resumen**—A pesar de contar con un sistema informático (ERP), el proceso de procura no cuenta con una gestión automatizada para dar seguimiento y soporte a las diferentes a sus etapas. La apertura hacia otros mercados implica aplicar la gestión de procura con mayor agilidad, debido a la complejidad de las transacciones internacionales. La investigación se planteó como objetivo general, desarrollar un modelo de Gestión de Información basado en el e-business para mejorar los procesos de procura en la Industria Manufacturera. Se trabajó con una metodología enmarcada dentro del paradigma positivismo lógico, utilizando un abordaje cuantitativo, el nivel es descriptivo. Así mismo, la modalidad es de Proyecto Factible. La población y la muestra objeto de estudio estuvo conformada por 18 trabajadores. Entre los resultados el 67% de proveedores manifiesta que es indispensable el acceso a una red de datos para la correcta ejecución de los procesos de procura.

**Palabras Clave**—e-business; gestión; procura; información.

**Abstract**— Despite having a computer system (ERP), the procurement process does not have an automated management to monitor and support the different stages. Openness to other markets involves applying the procurement management with greater agility, due to the complexity of international transactions. The research was proposed as general objective, to develop a model based Information Management in e-business to improve processes in the manufacturing industry seeks. We worked with a methodology framed within the paradigm logical positivism, using a quantitative approach, descriptive level. Likewise, the method is feasible project. Population and study sample consisted of 18 workers. Among the results 67% of providers said that access to a data network for the proper execution of procurement processes is essential.

**Keywords**—e-business; management; procurement; information.

### I. INTRODUCCIÓN

La información es un activo intangible de gran valor para cualquier organización, satisfaciendo necesidades tanto reales como sentidas, siempre y cuando se encuentre disponible de manera oportuna así como veraz. La cual se mueve a través de redes formales e informales, con una estructura bien definida, en consecuencia propone como objetivo fundamental dar un significado a quien la recibe, transformándola y agregándole valor en el proceso. De allí, que está ubicada, junto a las materias primas y la mano de obra, en un lugar importante, como uno de los principales recursos que poseen las empresas modernas.

Por otra parte, el intercambio electrónico de datos contempla el envío de información en su expresión mínima de manera estructurada con normas de mensajes acordadas, acelerando la cooperación e incrementando el intercambio de documentos digitales entre los diferentes actores como lo son, los clientes y proveedores, en base a un entendimiento claro, coadyuvando a una integración efectiva.

De allí que, los procesos de trasferencias de información basado en el intercambio electrónico de datos por medio de la plataforma de internet, materializan la aplicación del negocio electrónico, colocando como meta la cooperación con los actores en tiempo real, originando mercados virtuales con el fin de proveer a las organizaciones de facilidades para realizar la selección, compra y entrega de las mercancías necesarias, afectando la gestión de procura de manera significativa.

Por esta razón, en la actualidad, se han hecho grandes esfuerzos para agilizar los procesos de procura en la industria manufacturera desde los proveedores a los clientes, sin embargo, esta labor ha sido engorrosa por la velocidad a la que

se están moviendo los negocios en el mundo de hoy, por lo tanto, evitando correr el riesgo de quedarse atrás entre los competidores, se ha generado, un incesante proceso creativo de innovación y de optimización en la búsqueda de mejorar las cosas, informando constantemente de cómo se están haciendo las cosas con respecto a los demás, generando un consumo de tiempo, esfuerzo y la utilización de recursos de la organización.

Por consiguiente, para asegurarse de que las decisiones relacionadas con la procura sean lo más correctas y adecuadas desde el punto de vista de la empresa, con la agregación de valor en la mira, es muy importante que el proceso de compra sea fluido y ágil, y que las decisiones se tomen rápidamente.

Dado el planteamiento anterior esta investigación se planteó como objetivo general, desarrollar un modelo de gestión de información basado en el e-business para mejorar los procesos de procura en la Industria Manufacturera.

## II. MÉTODO.

El trabajo se desarrolló con una metodología enmarcada dentro del paradigma positivismo lógico, con un abordaje cuantitativo, el nivel es descriptivo, ya que “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o suposición para establecer su estructura o comportamiento” [1]. Con un diseño de campo no experimental, definido [1] como “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna”, que coincide con los parámetros de ésta investigación, ya que no se manipularon ninguna de las variables estudiadas.

Así mismo, la modalidad es de Proyecto Factible, donde la [2], la define como “la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales”.

La población y la muestra objeto de estudio estuvo conformada por 18 trabajadores del departamento de compras en Industrias Diana, Industrias Copave C.A. y Covegra C.A. empresas venezolanas manufactureras dedicadas a la fabricación de aceites y grasas comestible, siendo estos directivos, coordinadores y personal administrativo, distribuyéndose según la Tabla I.

TABLA I. POBLACIÓN Y MUESTRA SELECCIONADA.

Empresa	Cargo	Número de Personas
Industrias Diana	Gerente de Administración	1
	Coordinador del departamento de compras	1
	Analista Administrativo	8
Industrias Copave C.A.	Gerente de Compras	1
	Coordinador del departamento de Procura	1
	Analistas de Compras	3
Covegra	Gerente de Administración	1

C.A.	Jefe de Compras	1
	Analista de Compras	2
	Totales	18

A los cuales se les aplicó una encuesta en su modalidad de cuestionario (Ver Tabla II), que permitió recabar la información relacionada con los factores que inciden en el proceso de la investigación. Teniendo una confiabilidad del instrumento de 0,83, analizada a través del método de Kuder y Richardson, dado que el cuestionario se basa en preguntas dicotómicas, donde S significa Si y N, No. Es importante acotar que la confiabilidad se utilizó para analizar a todo el instrumento en conjunto, es decir en sus tres dimensiones.

TABLA II. CUESTIONARIO DIRIGIDO AL PERSONAL DEL ÁREA DE COMPRAS DE LAS ORGANIZACIONES.

Ítems	Preguntas	S	N
<i>Dimensión: Estatus del Proveedor</i>			
1	¿Considera usted que el Posicionamiento garante una relación efectiva con el proveedor?		
2	¿Considera usted que ubicación del proveedor afecta el tiempo de entrega de los materiales?		
3	¿Considera usted que como factor determinante en la ejecución de los procesos de procura la Disponibilidad de acceso a Internet del proveedor?		
4	¿Considera Usted indispensable la utilización de SCM (gestión de la cadena de suministro) para optimizar los procesos de procura con los proveedores?		
5	¿Conoce usted los reglamentos exigidos por los proveedores para la compra de materiales?		
<i>Dimensión: Procedimientos Administrativos</i>			
6	¿Considera usted que los procesos de procura de materiales son planificados por el departamento de compras mediante la solicitud de cotizaciones?		
7	¿Conoce usted claramente las políticas de licitación de la empresa?		
8	¿Cree usted que incrementará el proceso convencional de órdenes de compra según las nuevas tendencias del mercado?		
9	¿Cree usted que seguirá igual el proceso convencional de órdenes de compra según las nuevas tendencias del mercado?		
10	¿Considera usted la rotación de inventario acorde a las necesidades de la empresa?		
11	¿Cree usted que se da seguimiento, a los procesos de procura?		
12	¿Se elabora los resultados de las operaciones realizadas del departamento?		
13	¿Se difunden los resultados de las operaciones realizadas del departamento a entes superiores?		
14	¿Conoce usted las normas técnicas aceptadas por		

	la empresa para la compra de materiales?		
<i>Dimensión: Estandarización e Integración con los Proveedores</i>			
15	¿Dispone la empresa de su propio Website en Internet?		
16	¿Permiten a los clientes hacer solicitudes de compra a través de Internet u otras redes de datos?		
17	¿Utilizan Internet u otras redes para realizar sus pedidos de compra de bienes o servicios a proveedores?		
18	¿Reciben pedidos de clientes a través de una solución de Tecnología de Información?		
19	¿Utilizan aplicaciones para colaborar con socios comerciales en el pronóstico de la demanda de un producto o servicio?		
20	¿Busca la empresa fuentes de suministro alternativas a sus proveedores, en pro de localizar nuevos materiales y equipos?		

### III. RESULTADOS.

#### A. Diagnóstico.

Los datos recolectados fueron procesados y analizados por medio de la estadística descriptiva y se presentan ordenados en cuadros de distribución de frecuencia y gráficos de barra, cada uno con sus respectivas interpretaciones. Cabe destacar que el procesamiento se realizó a través del software SPSS.

Para la dimensión Estatus del proveedor, se analizaron los indicadores posicionamiento, ubicación, disponibilidad de acceso a internet, utilización de SCM y reglamentos. Por lo que se observa, que en un 78% de la población encuestada manifiesta que si hay un posicionamiento del proveedor en mercado, así mismo, se puede apreciar que el 67% manifiestan que la ubicación del proveedor afecta los tiempos de entrega de los materiales. Igualmente, se evidencia que el 67% manifiesta que es indispensable el acceso a una red de datos para la correcta ejecución de los procesos de procura.

Siguiendo con el indicador Utilización de SCM, se denota que el 67% manifiesta que es de suma importancia la utilización de una herramienta para la gestión de la cadena de suministro de la organización, sin embargo, el 78% de los encuestados expresan conocer los reglamentos de compra de cada proveedor. (Ver Tabla III y Fig. 1.).

TABLA III. ESTATUS DEL PROVEEDOR

Item	Si	%	No	%
1	14	77.78	4	22.22
2	12	66.67	6	33.33
3	12	66.67	6	33.33
4	12	66.67	6	33.33
5	14	77.78	4	22.22

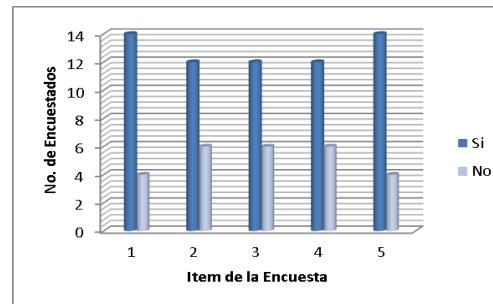


Fig. 1. Estatus del Proveedor.

En la dimensión Procedimientos Administrativos, se trabajaron los indicadores solicitud de cotizaciones, licitación de materiales, órdenes de compra, rotación de inventarios, seguimiento y normas. En este caso, el 78% de los encuestados, considera que los procesos de procura son debidamente planificados por el departamento de compras mediante la solicitud de cotizaciones, del mismo modo, el 89% muestra conocer claramente el proceso de licitación de la empresa.

Sin embargo, el 56% de la población encuestada, considera el incremento del proceso convencional de órdenes de acuerdo a las nuevas tendencias del mercado, por otro lado, el 44% se inclina por disminución del proceso convencional de órdenes de compra según las nuevas tendencias del mercado.

Con respecto al indicador rotación de inventarios, el 22% de la muestra considera la rotación desajustada a las necesidades de la empresa. Con respecto al indicador seguimiento, el 56% piensa que se da el seguimiento a los procesos de procura. De la misma manera, un 56% se inclina por la elaboración de análisis de resultados del departamento de compras, por otro lado, el 33% opina que si se está difundiendo un análisis de los resultados elaborados por el departamento de compras a entes superiores. Así mismo, para el indicador Normas, se puede apreciar que el 33% de los encuestados manifiestan conocer las normas técnicas aceptadas por la empresa para la compra de materiales. (Ver Tabla IV. y Fig. 2).

TABLA IV. PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS.

Item	Si	%	No	%
6	14	77.78	4	22.22
7	16	88.89	2	11.11
8	10	55.56	8	44.44
9	8	44.44	10	55.56
10	4	22.22	14	77.78
11	10	55.56	8	44.44
12	10	55.56	8	44.44
13	6	33.33	12	66.67
14	6	33.33	12	66.67

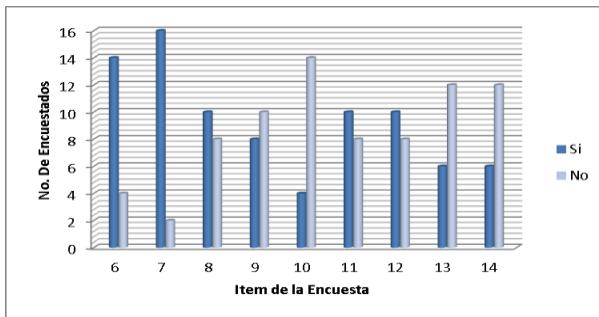


Fig. 2. Procedimientos Administrativos.

Y en la dimensión estandarización e integración con los proveedores, se estudiaron los indicadores control y percepción del mercado, teniendo como resultado del primer indicador que el 89% considera que la empresa dispone de su propio website en internet, por otro lado, un 33% se inclinan por permitir a los clientes hacer solicitudes de compra a través de internet u otras redes de datos. A su vez, un 44% opina, que si permiten los proveedores hacer pedidos de compra de bienes y servicios a través de internet u otras redes de datos.

Por otro lado, para indicador percepción del mercado, un 44% de los encuestados coinciden en recibir pedidos de clientes a través de una solución tecnológica, así como también, se observa, que el 44% de los encuestados consideran utilizar aplicaciones para colaborar con socios comerciales en el pronóstico de la demanda de un producto o servicio, así mismo, un 56% se inclinan por diversas fuentes de suministro a sus proveedores en pro de localizar nuevos materiales y equipos. (Ver Tabla V y Fig. 3).

TABLA V. ESTANDARIZACIÓN E INTEGRACIÓN CON LOS PROVEEDORES.

Item	Si	%	No	%
15	16	88.89	2	11.11
16	6	33.33	12	66.67
17	8	44.44	10	55.56
18	10	55.56	8	44.44
19	8	44.44	10	55.56
20	10	55.56	8	44.44

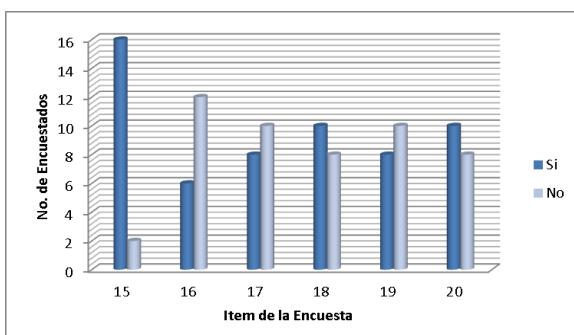


Fig. 3. Estandarización e integración con los proveedores.

Luego de procesar, analizar e interpretar la información recopilada en el instrumento aplicado, se evidenció la necesidad de mejorar los procesos de procura en la industria manufacturera a través de un modelo de Gestión de Información basado en el E-business.

#### B. Modelo de Gestión de Información basado en el E-business.

El nuevo proceso de aprovisionamiento, comprende los siguientes elementos:

- Proveedor: El modelo inicia mediante una solicitud de cotización emitida por el proveedor para ofrecer su oferta de productos, y registrarlas en el catálogo mediante las licitaciones automatizadas. Si los productos coinciden con la solicitud de cotización realizada, ya se encuentran en el catálogo, se pondera el costo promedio y se realiza la licitación o subasta interna de manera automática, previa verificación del proveedor.
- Una licitación o subasta inversa, mediante la cual, la empresa compradora no realiza los pasos tradicionales de búsqueda de proveedores, sino, que son los proveedores quienes se acercan a la empresa compradora y “pujan” por conseguir la adjudicación de la orden de compra.
- Un catálogo de productos: Una base de datos con productos preestablecidos de tal modo que cada proveedor puede autocompletarlos, agregando sus ofertas y características propias del producto.
- Análisis de Licitaciones: Se establecen los criterios de acuerdo al artículo 59 de [3], aplicando criterios de calidad y oferta.
- La generación de solicitud de compra: mediante el cual, la empresa informa a los proveedores de cuáles son sus necesidades, utilizando los canales electrónicos.
- Un soporte de proceso o programa ERP: El cual permite conectar la compra electrónica a los procesos propios del departamento.
- La generación del pedido a los proveedores: Una vez realizado el proceso de licitación, al proveedor con mayor puntaje se le asignada la oferta de compra mediante un pedido enviado por medio electrónico.
- Un proceso de mejora continua, para conocer las experiencias y sugerencias de los proveedores.

Este proceso se puede observar gráficamente en la Fig. 4, que se muestra a continuación.

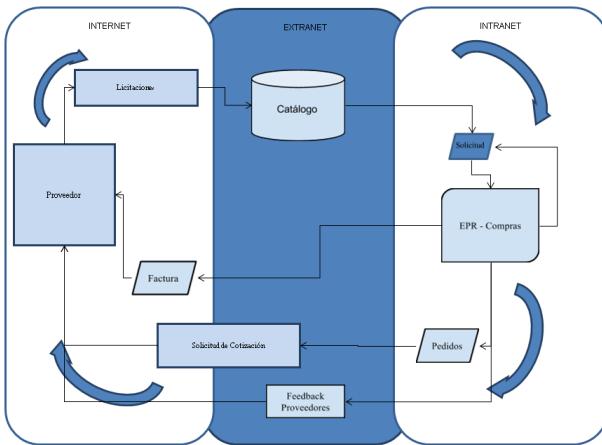


Fig. 4. Proceso de Aprovisionamiento basado en E-business.

Lo antes expuesto, tiene como consideración del mismo, la utilización de internet como una herramienta básica para obtener soluciones globales del proceso de compras, es decir, se está hablando de compras electrónicas a través de internet, lo que genera un cambio muy significativo en el esquema de trabajo tradicional relacionado con el proceso de compras o aprovisionamiento.

Igualmente, se diseñaron las fases para aplicar el modelo, las cuales se describen a continuación:

**Gestión de los Recursos.** Los recursos vienen dados por el análisis de la disponibilidad de los equipos informáticos, así como, de los recursos humanos, a fin de garantizar la implantación y mantenimiento del sistema, siendo una fuente esencial para el logro de los objetivos de optimización. Comprendiendo las siguientes sub-fases: Gestión de los Recursos Humanos, Infraestructura y Ambiente de Trabajo.

**Aplicación del Sistema.** El modelo de aplicación del sistema, comprende una metodología para la implementación del software. En donde se combinan las prácticas de reingeniería de software, empleando las siguientes sub-fases: Análisis y diseño de software, Implementación y Puesta en marcha.

**Medición, análisis y mejora.** Esta fase permite crecer sin quedar estancando en una fase de implementación, siendo afectado por los cambios del entorno, permitiendo establecer a la organización los mecanismos necesarios para obtener información sobre la satisfacción de los proveedores, de igual modo, establecer auditorías internas para verificar el cumplimiento de las condiciones acordadas, relativas a la optimización de los procesos de aprovisionamiento de la organización. Tiene como sub-fases: satisfacción del proveedor y Análisis de datos y mejora.

Las fases de aplicación se pueden apreciar gráficamente en la Fig. 5, mostrada a continuación.



Fig. 5. Fases de aplicación del Modelo.

### C. Aplicación del Modelo de Gestión de Información basado en e-business.

En esta sección, se argumentan los resultados obtenidos en la aplicación de cada una de las fases del modelo antes descrito, con el fin de verificar el aporte al cumplimiento a los objetivos del modelo.

Para la primera fase, denominada Gestión de los Recursos, se trabajó en las tres sub-fases correspondientes:

**Gestión de Recursos Humanos:** la factibilidad humana vino dada por el personal administrativo, el cual está capacitado en el área de compras, y éste se adaptó rápidamente a las características propias del negocio electrónico, logrando procesar y dar seguimiento a las solicitudes de abastecimiento en tiempo real, ya que a medida que los proveedores licitaban sus ofertas de productos (acorde a la necesidad planteada) y analizando los que poseían mayor beneficio.

Igualmente, el personal del área de sistemas, fue capacitado para desarrollar el aplicativo de negocio electrónico, bajo estándares de software libre, todo en conjunto aportaron un aumento en la velocidad de respuesta, así como también se logró cumplir con los tiempos estimados para la logística de aprovisionamiento entre cada proveedor y la empresa.

**Infraestructura:** en este caso se requirió la compra de dos servidores, lo que evidencia la iniciativa certera a propuestas tecnológicas de información emergentes, siendo la capacidad operativa de modernización aumentada a razón de computadoras disponibles para el mejoramiento continuo, acorde a los cambios futuros del mercado, además se pasó a una red de datos de alta velocidad para la comunicación externa con los proveedores.

**Ambiente de trabajo:** Se adecuó un espacio para el área de los nuevos servidores, del mismo modo, el papel de la alta dirección, a través de su liderazgo y sus acciones, pudo crear un ambiente en donde el personal se encontró completamente involucrado.

Para la fase de Aplicación del Sistema, se consideró lo siguiente:

**Análisis y diseño de software:** se realizó el estudio de la cadena documental determinándose por los resultados de uso de las solicitudes de abastecimiento, órdenes de compra, comparación de licitaciones, promoción de subastas a nuevos proveedores, validación de normas y reglamentos. Así como, protocolos de comunicación, para el aplicativo (catalogo online, normas, reglamentos, generación de alianzas y convenios,

estatus de seguimiento de pedidos), mediante la investigación del proceso actual de compra.

Tomando en consideración a la Fig. 6, el proceso de aprovisionamiento inicia con la solicitud de abastecimiento generada en almacén, luego en el departamento de compras es recibida y procesada, seguidamente, se genera el pedido y se analizan las licitaciones correspondientes de cada proveedor. Seguidamente, se originan las imputaciones presupuestarias correspondientes.

Este paso, apertura un albarán de entrada para cuando el producto o servicio ya se encuentre en la empresa y así dar ingreso al inventario. Una vez el pedido de compra tiene asociado un albarán, se procede a emitir una factura en borrador, al ser aprobada la factura genera la imputación presupuestaria del momento causado, a su vez en el departamento de contabilidad el pago del proveedor es registrado en las cuentas contables por pagar, posteriormente, se emite el extracto bancario asociando la cancelación de la deuda del importe total, mediante una forma de pago, registrando este movimiento en cuenta contable de los bancos, a su vez se crea el movimiento presupuestario del instante pagado.

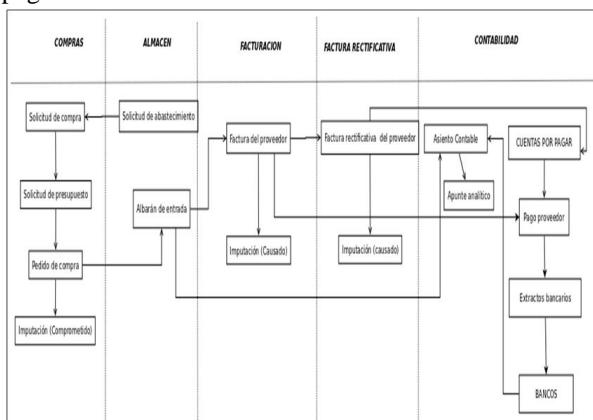


Fig. 6. El Proceso Documental Actual de Aprovisionamiento.

**Implementación:** Antes de comenzar con la aplicación del sistema, es importante mencionar la utilización de las mejores prácticas del comercio electrónico. Se implantó el sistema de negocio electrónico (Ver Fig. 7) así como, el catálogo de productos (Ver Fig. 8).

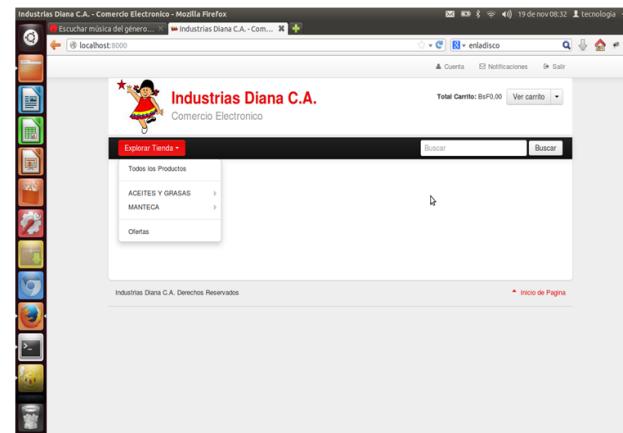


Fig. 7. Acceso a Portal de Negocio electrónico a Proveedores.

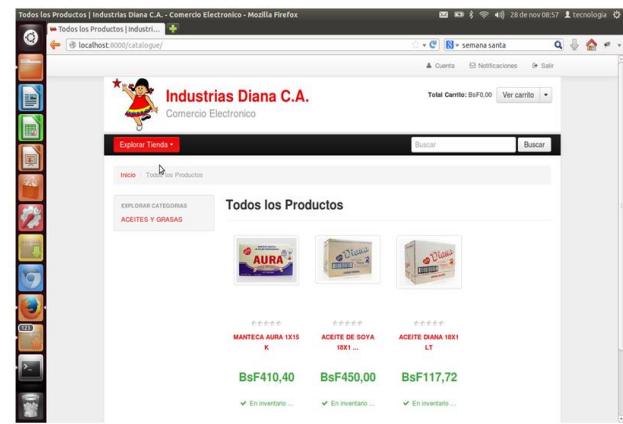


Fig. 8. Catálogo de productos de portal de Negocio electrónico a Proveedores.

**Puesta en Marcha:** se creó un equipo directivo, formado por los máximos responsables de cada una de las áreas funcionales de la empresa (es decir, el gerente financiero, el gerente de logística, gerente de compras, y gerente de sistemas). Por tanto, el primer cambio generado por el aplicativo, fue de tipo organizativo, dando lugar a una mayor participación a los directores de cada departamento.

Durante la tercera fase, medición, análisis y mejora, con el propósito de validar los resultados en los que se valora el proceso de optimización de aprovisionamiento en términos de la satisfacción del proveedor, se aplicó un instrumento con los indicadores de gestión y cómputo basados en las variables de proceso de procura y mercados virtuales. (Ver Tabla VI).

TABLA VI. INDICADORES DE APROVISIONAMIENTO BASADO EN E-BUSINESS

Indicador	Sub-indicador	Formula	Resultado
<b>Variable: Proceso de Procura</b>			
Solicitud de	Tiempo de	Tiempo de la	25,7%

Cotizaciones	reacción a la confirmación del pedido	confirmación de los detalles por el proveedor / tiempo transcurrido de la recepción del pedido	
Licitación de materiales	Plazo de respuesta a petición de información de los Proveedores	Tiempo transcurrido de respuesta / tiempo transcurrido de la emisión de una petición	50,4%
Órdenes de Compra	Tiempo del ciclo del pedido	Tiempo de cuando los productos ya están disponibles para ser utilizados / tiempo transcurrido de la emisión de la orden de compra	60,1%
Rotación de Inventarios	Aseguramiento de la cantidades enviadas	Cantidad de productos entregados / cantidad solicitada por el cliente	52,7%
Seguimiento	Tiempo de reacción a la información requerida	Tiempo en facilitar una contestación / tiempo de información del requerimiento	10,2%
<b>Variable: Mercados Virtuales</b>			
Control del Mercado	Proveedores Atendidos	Proveedores Atendidos / Proveedores Participantes	92,3%
Percepción del Mercado	Proveedores adaptados a la IT basados en e-business	Proveedores dispuesto a innovaciones en IT / Proveedores Participantes	95,1%

Permitiendo esto una evaluación del proceso de implementación del Gestión de Información basado en el e-business diseñado.

#### DISCUSIÓN.

Al finalizar la investigación es propio el momento para establecer reflexiones y conclusiones del mismo, en este sentido, las mismas servirán a futuros estudios como punto de referencia en investigaciones similares, de esta manera se documenta y se sienta un precedente que puede dar origen a iniciativas parecidas o profundizar aún más en el tema. A continuación se presentan las siguientes:

Dentro de esta gestión de aprovisionamientos al unirse con las tecnologías de información basadas en e-business, se generan soluciones, estadísticamente independientes entre ellas, que permiten la consecución de ahorros; concentración de volúmenes, reducción del número de proveedores, consolidación de compras dentro de un grupo, búsqueda de mejores precios y costos, y búsqueda global de todos los ámbitos de los proveedores.

Cuando se analiza el proceso de procura desde los parámetros clásicos de la reingeniería, surgen los siguientes imperativos: comprimir el tiempo del proceso haciendo acuerdos previos con los proveedores que permitan agilizar los trámites burocráticos y legales que involucran; integrar los principios de calidad total al proceso; consolidar y eliminar las tareas que no agregan valor al proceso; estimular al personal; e involucrar también al proveedor y al cliente interno en todo este proceso.

Se encontró que es de suma importancia el posicionamiento del proveedor en el mercado, ya que garantiza una relación efectiva con la organización para un mercado altamente competitivo, ya que el proveedor líder logra sobrepasar las dificultades emergentes en relación con los competidores, siendo este una garantía de éxito, consiguiendo mayores niveles de eficiencia en los procesos productivos en términos de precio, tiempo de entrega, condiciones de compra, a través de la implementación de herramientas tecnológicas de control. Así es mencionado por [4] quien señala “es el lugar que ocupa un producto en relación a otros en la mente del consumidor o en el ranking del mercado, siendo uno de los factores fundamentales para el éxito del producto que se enfrenta a mercados competitivos”.

En función a las respuestas de los encuestados es importante la disponibilidad de internet por parte del proveedor ya que facilitar el intercambio de información en tiempo real, mediante las tecnologías de información, evitando retrasos innecesarios ya sea por fallas inesperadas en el proceso de procura. Según lo indica [5] “la disponibilidad de Internet ha originado nuevas tecnologías que facilitan el intercambio de datos entre socios y consumidores de negocios. Las compañías la están usando para crear nuevos tipos de sistemas que integran sus datos para aumentar su eficiencia y reducir costos”.

Así mismo, se requiere integrar los reglamentos administrativos en una herramienta informática que disponga al proveedor de opciones prediseñadas que lo guíen, con el fin de indicar al departamento sus lineamientos de venta, todo ello acorde a las disposiciones legales que ello implica. Estableciendo de esta manera una comunicación en tiempo real de los reglamentos. Según [6] éstos reglamentos de los proveedores “son las lineamientos reguladores en el proceso de compra que indican las funciones y normas que se deben seguir y la guía de los requisitos que se deben llenar e instruye sobre los derechos que asisten al comprador”.

En este mismo orden de ideas necesita de la aplicación de estrategias que faciliten la gestión de aprovisionamiento de la empresa, lo cual puede traducirse en una reducción importante en los costos de adquisición, compra, almacenaje, transporte y comercialización de los productos ofrecidos y garantizando el

suministro en el tiempo y lugar requerido por los clientes. Según [6], “las compras pueden combinarse con distintas actividades de almacenamiento e inventario para formar un sistema integral de gestión de materiales. El objetivo de la gestión de materiales está orientada a obtener la eficiencia de las operaciones por medio de la integración de todas las actividades de adquisición, movimiento y almacenaje de materiales en la empresa.”

Con respecto a la aplicación del modelo, para la variable de proceso de procura con el indicador de solicitud de cotizaciones, se evidencia un aumento en los tiempos de respuesta logrando que la planificación se ejecute de manera eficaz por todo el departamento. Sabiendo que, [8] define el tiempo de respuesta de la confirmación del pedido, como una medida de capacidad de respuesta del proceso de recepción de órdenes de venta.

Así mismo, se logró la correcta selección basada en el precio, e incluso las propuestas que conlleva la calidad u enfoque técnico con estos tiempos de respuesta dan solución exacta y completa de cada vendedor potencial y una evaluación sencilla de las ofertas. Es importante mencionar que, [7] define los tiempos de respuestas a las ofertas, como la capacidad de respuesta de un departamento de ventas ante la petición de una oferta. En este caso, estos tiempos han favorecido la selección por parte del departamento de ventas de propuestas enfocadas en precios y calidad.

De este mismo modo, para la variable de proceso de procura con el indicador de Órdenes de Compra se lograron atender oportunamente, debido a la estandarización y practicidad de los formularios facilitando la comunicación con los proveedores, esto proyecta una capacidad de respuesta a los cambios actuales que se presentan en la actualidad. Para este caso cabe destacar que [8], indica que la orden de compra “es el documento para comprar o adquirir los bienes y servicios necesarios, con el cual se debe asegurar que se satisface la necesidad de producción, definiendo con claridad las características que necesita”. Las órdenes de compra inmersas en el proceso automatizado del ERP (Enterprise Resource Planning – Planificación de Recursos Empresariales) son aceleradas, ya que los pedidos son generados al momento que surge la necesidad de producción, cruzando con claridad las características de productos solicitados, alimentado del formulario del catálogo de productos del aplicativo.

Para la variable de proceso de procura con el indicador de Rotación de Inventarios, se obtuvo una reducción importante en los costos de adquisición, compra, almacenaje, transporte y comercialización de los productos ofrecidos y garantizando el suministro en el tiempo y lugar requerido por los clientes.

El indicador de seguimiento de la variable de proceso de procura tuvo una facilidad de respuesta en tiempo real, dado por el modelo implantado en donde la interoperabilidad del ERP con el aplicativo garantizando la información del estatus de obtención de bienes y servicios dentro de los plazos requeridos. Sabiendo que para [7] el tiempo de respuesta de la

petición de información sobre las órdenes de compra, es la medida de la capacidad de respuesta del personal que trabaja con el proveedor de cara al cliente y la habilidad de él para hacer disponible dicha información, en este orden de ideas, la conexión de interoperabilidad de acuerdo a las capacidad tecnológica de los sistemas del proveedor, garantizan la disponibilidad del estatus de los pedidos estimando con precisión los tiempos de entrega.

Por otra parte, la variable de Mercados Virtuales con el indicador de Control del Mercado, se integraron las actividades tanto dentro como fuera de una organización, mediante la implementación de tecnologías de información que extienden la cadena de suministro hasta los proveedores. Se sabe que, [9] señala, que el e-procurement como la realización de actividades operativas y estratégicas asociadas a los procesos de aprovisionamiento en las empresas y sus relaciones con proveedores, empleando para ello tecnologías de información y comunicación e Internet. Por lo tanto, la integración del aprovisionamiento con las tecnologías de información a través de e-procurement permite extender la cadena de suministro, aumentando el número de los mismos ya que la información fluye entre ambos oportunamente.

Finalmente, para la variable de Mercados Virtuales con el indicador de Percepción del Mercado, se evidencia la certeza de la integración del desarrollo tecnológico que soporta el e-business estando en permanente fase de evolución, lo que agiliza la gestión de stocks haciendo factible los desarrollos propios para un crecimiento tecnológico, ya que [10] identifica e-business como, “el nombre general para designar la manera en que una organización hace su trabajo mediante enlaces electrónicos (Internet) con su grupo de interés (empleados, gerentes, clientes, compradores, proveedores y asociados) con el fin de alcanzar sus metas de manera eficiente y eficaz”, entonces, la disposición a adaptar e-business en todos los procesos de negocios de las empresas ha venido siendo una tendencia mundial agilizando la gestión de inventarios aplicando cambios evolutivos contantes en todos los pasos del aprovisionamiento, estando el mismo en constante innovación.

## REFERENCIAS

- [1] F. Arias, “El Proyecto de Investigación”, 6ta. Edición, EPISTEME. Caracas: Venezuela,, pp. 20, 2012.
- [2] Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), “Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales”, FEDUPEL , Caracas: Venezuela, 2011.
- [3] Ley de Contrataciones Públicas, Gaceta Oficial No. 39.503 de la República Bolivariana de Venezuela, 6 de Septiembre de 2010.
- [4] A. Bastos, “Implantación de Productos y Servicios. 1a edición. Ideaspropias editorial, 2012.
- [5] Coronel, C. Base de Datos, Diseño, Implementación y Administración.9na Edición. Cengage Learning Editores. México. 2011.
- [6] I. Gonzales, “Compras Y Almacenamiento: Aprovisionamiento. Módulo 5”, 1 Edición, Editorial Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. 1993
- [7] J. Sanchez, “Principios básicos de empresa”, Editorial Vision Net, Madrid, España, 2008.

- [8] E. Chaves, "Administración de Materiales", [online] 2006. Disponible en: <http://books.google.co.ve/books?id=yQcwaOB0IvkC&num=10>
- [9] A. Aguilar, "Factores del entorno que influyen en la adopción de e-procurement en empresas de la industria del mueble en España", [online] 2013. Disponible en: <http://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/ITECKNE/article/view/183>
- [10] S. Robbins, "Administración", [online] pp. 40 , 2005. Disponible en: [http://books.google.co.ve/books?id=YP1-lNmORdgC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.co.ve/books?id=YP1-lNmORdgC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

# *Análisis de funcionalidad entre dos buses de servicio empresarial Java EE*

## *Analysis of functionality between two Java EE enterprise service buses*

Rea Mauricio<sup>1</sup>, Huera Fabricio<sup>2</sup>, Imbaquingo Daisy<sup>3</sup>, Ortega MacArthur<sup>4</sup>, Jácome José<sup>5</sup>, Pusdá Marco<sup>6</sup>

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales,  
Universidad Técnica del Norte, Av.17 de Julio 5-21 y Gral. José Córdova  
Ibarra, Ecuador

[mrea@utn.edu.ec](mailto:mrea@utn.edu.ec) , [xavys10@yahoo.com](mailto:xavys10@yahoo.com) , [deimbaquingo@utn.edu.ec](mailto:deimbaquingo@utn.edu.ec) , [mc.ortega@utn.edu.ec](mailto:mc.ortega@utn.edu.ec) , [jgjacome@utn.edu.ec](mailto:jgjacome@utn.edu.ec) ,  
[mrpusda@utn.edu.ec](mailto:mrpusda@utn.edu.ec)

**Resumen-** Este trabajo presenta una comparación de dos Buses de Servicios Empresariales identificados como referentes en las implementaciones de software libre para ESB: OpenESB y Mule ESB. El primero usa JBI y el segundo su propio motor de integración basado en interfaces y conectores. Ambos construidos sobre la arquitectura JavaEE pero en su estructura interna son distintos, allí radica la importancia de contraponer sus arquitecturas, estrategias, tecnologías e implementar un caso de comparación sobre ambos ESB. Se utiliza un análisis comparativo mediante un checklist para identificar las características y funcionalidades; y la metodología de la prueba- error para evaluar el rendimiento de los ESB, para lo cual se implementó una aplicación que permite cuantificar las transacciones por segundo. Con estas comparaciones se determinó que el bus OpenESB brinda un mejor rendimiento y operatividad.

**Palabras claves:** SOA, Mule ESB, OpenESB, Bus de Servicio Empresarial, ESB.

**Abstract-** This paper presents a comparison of two Enterprise Service Buses identified as reference implementations of free software for ESB: OpenESB and Mule ESB. The first uses JBI and the second its own integration engine based in interfaces and connectors. Both built on the JavaEE architecture but its internal structure is different, there lies the importance of confronting their architectures, strategies, technologies and implement a case of comparison of both ESB. A comparative analysis is used through a checklist to identify the features and functionality; and methodology of the test-mistake to evaluate the performance of ESB, for which an application to quantify transactions per second was implemented. With these comparisons it is determined that the OpenESB bus provides better performance and operability.

**Keywords:** SOA, Mule ESB, OpenESB, Enterprise Service Bus, ESB.

### I. INTRODUCCIÓN

El entorno actual empresarial exige adoptar arquitecturas tecnológicas que permitan a las áreas de TI desarrollar e implementar aplicaciones que cuenten con una facilidad de integración a los procesos empresariales de manera flexible y eficiente.

El estudio propone una alternativa que pueda ser evaluada por las empresas porque la arquitectura orientada a servicios (SOA) y específicamente el uso de los buses de servicios

empresariales (ESB) permite soluciones que facilitan la integración distribuida basada en estándares.

La función que realiza un ESB es facilitar una comunicación entre las diferentes aplicaciones y servicios de una empresa o al exterior. La fortaleza de una solución de ESB es la posibilidad de la comunicación entre sistemas de cualquier plataforma, se encarga de traducir de un lenguaje a otros, el lenguaje que se utiliza se normaliza, empleando lenguaje XML. [1]

### II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

#### A. Introducción

En la actualidad existe una variedad de problemas en las organizaciones que tienen que integrar y coordinar sus sistemas operacionales ya que estos trabajan independientemente y solucionan determinadas tareas, además no existen estándares de desarrollo tecnológico; esto ocasiona que exista una amplia variedad de aplicaciones que trabajan en diferentes plataformas, lo cual hace que la integración entre ellas sea complicada.

Entre las alternativas existentes para la construcción de una plataforma de integración, la más destacada comprende una combinación de patrones de diseño en una arquitectura escalable, orientada a servicios (SOA). Dentro de esta arquitectura existe un componente de middleware estándar llamado Bus de Servicios Empresariales (ESB), el cual debe ser flexible, con soporte a múltiples protocolos, tecnologías y formato de datos heterogéneos, y fundamentalmente mediante el uso de tecnologías y librerías con licencias libres, que permitan su estudio, modificación y adaptación a requerimientos específicos.

#### B. Buses de Servicios Empresariales (ESB)

Los ESB son ecosistemas de software que combinan aplicaciones desarrolladas sobre las más dispares plataformas, con frecuencia aparece la necesidad de integrar diversas aplicaciones empresariales para que puedan trabajar de forma conjunta y producir valor agregado, lo que supone retos tanto desde el punto de vista conceptual como técnico [2].

Se presenta un marco de comparación de dos herramientas ESB JavaEE para en un trabajo posterior diseñar una solución de integración en el contexto de ecosistemas reales y complejos como la facturación electrónica en el Ecuador.

Para la selección de los buses de servicios que van a ser comparados, se consideraron los siguientes factores básicos:

- Debe ser software soportado por la comunidad, esto en respuesta a los decretos emitidos por el Gobierno Nacional del Ecuador que promueven el uso del software libre. [3]
- Deben tener popularidad dentro de las comunidades de desarrollo del Ecuador.
- Deben implementarse sobre la plataforma Java EE.
- Los ESB seleccionados entonces son: Mule ESB v 3.5 y OpenESB v 2.3 (versiones disponibles al momento del estudio).

Mule ESB es uno de los primeros y exitosos ESB de código abierto, incluye una instalación sencilla e intuitiva, tiene las herramientas basadas en Eclipse. Por lo general, los ESB de código abierto son soluciones muy ligeras y extensibles. Aparte de la versión de código abierto, existe una versión comercial que está disponible en su página web. [4]

OpenESB también está desarrollado con una licencia de software libre que permite que una comunidad mantenga el producto en constante desarrollo. Sus herramientas de desarrollo están basadas en el IDE Netbeans. [5]

Un servicio proxy ESB define los servicios virtuales disponibles para los clientes, los mismos que están alojados en el servidor SOAP. Un servicio proxy puede realizar el transporte o la interfaz de commutación y exponer servicios reales como: WSDL, políticas, aspectos de calidad de servicio - QoS, seguridad WS, entre otros. Mediante mensajes se realizan peticiones de servicios antes de ser entregados a los puntos finales o clientes en tiempo real, tal como se observa en la Fig. 1.



Fig. 1. Arquitectura servicio proxy ESB

Fuente: [6]

### III. RESULTADOS

Los ESB seleccionados se sometieron a la evaluación en un equipo virtualizado con la plataforma Oracle VirtualBox, en la que se configuró el sistema operativo Ubuntu con las siguientes características:

- Procesador: 2da generación Intel® Core™ i5-2410M de 2.30GHz.
- Memoria: 8GB.
- El sistema operativo es Linux Ubuntu 12.04 de 32bits.
- Plataforma de desarrollo java JDK 1.7.

#### A. Establecimiento de parámetros para la elección de un ESB para SOA

Las características que se exponen en este estudio (Tabla I) son estándares de la industria y que fueron propuestos por varios autores y expertos en el desarrollo de aplicaciones SOA para la plataforma JavaEE. [7]

Se utilizó una escala simple para la valoración de cada parámetro evaluado. Estos valores definen tres niveles: cumplimiento total (puntaje 2), cumplimiento parcial (puntaje 1) o no cumplimiento (puntaje 0).

#### B. Análisis de rendimiento

En los dos ESB se desplegó una aplicación que simula el envío de mensajes que variará el tamaño de 512 bytes a 100Kbytes y un número simultáneo de 20 a 2560 usuarios de acuerdo a la técnica propuesta por Asankha C. Perera y Ruwan Linton. [8]

Se efectuaron dos corridas para cada ESB con rangos de peticiones que variaron desde 8000 hasta 512000 requests. Los promedios finales se presentan en los gráficos estadísticos en la Fig. 2

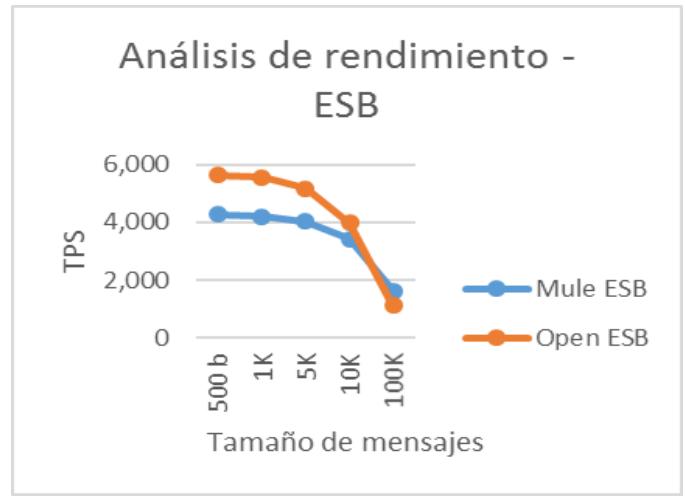


Fig. 2. Registro de Transacciones por segundo (TPS) en los ESB comparados

TABLA I. VALORACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COMPARACIÓN

BUSES DE SERVICIO EMPRESARIAL			
PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Mule ESB	Open ESB	Argumento
<i>Desarrollo</i>			
<i>Herramientas basadas en Eclipse</i>	2	0	Mule ESB está integrado con Eclipse
<i>Herramientas basadas en el IDE NetBEANS</i>	0	2	OpenESB está integrado con NetBEANS
<i>Creación de Drag-and-Drop</i>	2	2	Creación rápida con los componentes que posee cada ESB
<i>Protocolos de transporte JDBC, JMS, HTTP</i>	1	2	OpenESB soporta: JMS, HTTP, SOAP, REST, FTP, email, sistema de ficheros, Mule ESB soporta: JMS, HTTP, email, FTP
<i>Arrastrar y soltar Servicios Web y REST</i>	0	2	En OpenESB existe la posibilidad de arrastrar y soltar los Servicios Web, a diferencia de Mule ESB que no tiene esta funcionalidad.
<i>Usabilidad</i>	2	2	La experiencia del desarrollador es buena en cuanto a la comodidad de uso del producto.
<i>Capacidades de integración</i>			
<i>Creación y habilitación de los Servicios</i>	1	2	OpenESB proporciona una creación rápida de servicios a diferencia de Mule ESB.
<i>Soporte de patrones de integración</i>	2	2	Los patrones que soportan son: Ruteo Basado en Contenido, Ruteo Basado en Itinerario, Scatter-Gather, Messaging Gateway, Canonical Data Model, Patrón Cache.
<i>Nube de integración y oferta de plataforma (PaaS)</i>	2	2	Integración Oracle Cloud Services, Google App Engine, Heroku, Cloud Foundry, Microsoft Azure, Amazon AWS.
<i>Enrutamiento de mensajes basado en contenido</i>	0	2	OpenESB realiza el enrutamiento basado en reglas, Mule ESB no lo realiza.
<i>Mensajería</i>	2	2	Igual normalización de mensajes recibe y los transmite un ESB.
<i>Integración de servicios</i>	2	2	Igual Integración como con Facebook, Twitter, Amazon, Paypal, etc.
<i>Transformación de datos XML del mensaje (XSLT, XQuery...)</i>	2	2	Igual transformación de datos XML a través de XSLT y XSLTComponent, XQuery
<i>Orquestación de servicios</i>	2	2	Igual capacidad para combinar varios servicios existentes
<i>Seguridad</i>	2	2	Características similares en la Seguridad al utilizar los ESB
<i>Despliegue</i>			
<i>Flexibilidad y despliegue del contenedor</i>	2	1	Mule ESB su contenedor es más flexible y de rápido despliegue, OpenESB necesita más tiempo para poder desplegar su contenedor.
<i>Soporte OSGI</i>	1	1	No Soportan completamente el despliegue de las aplicaciones en paquetes
<i>SOAP (WSDL)</i>	2	2	Protocolo estándar que ambos ESB utilizan
<i>Alta Disponibilidad</i>	2	2	Garantizan el funcionamiento ininterrumpido del negocio
<i>Administración y Gestión</i>			
<i>Monitoreo JMX</i>	0	2	OpenESB permite usar los servicios de monitorización/administración de aplicaciones en caliente, Mule ESB no tiene esta capacidad.
<i>Supervisión de actividades de servicios</i>	2	2	Igual control de las actividades que realizan los servicios
<i>Comunidad</i>	1	2	OpenESB tiene una comunidad más extensa y activa que MuleESB
<i>Documentación</i>	2	2	Similar documentación.
<i>Ejemplos con código</i>	2	2	Variedad de ejemplos para cada ESB
<i>Acceso al soporte técnico</i>	2	2	
<i>Acceso al código fuente</i>	2	2	Se puede acceder al código fuente.
<i>TOTAL</i>	40	46	
<i>Porcentaje</i>	80%	92%	

OpenESB es el bus de servicios Empresariales con mejores resultados tanto en el análisis comparativo de características como en el promedio de rendimiento de transacciones por segundo, esto debido a sus características de mayor velocidad, facilidad de acoplamiento, e integración con herramientas. Se ha determinado la segunda posición para Mule ESB ya que presenta 12 puntos menos en el estudio comparativo y un 20%

menos de rendimiento de TPS. La Tabla II resume estos resultados.

TABLA II. RESUMEN DE ANÁLISIS

ESB	Estudio comparativo	Promedio Rendimiento
Mule ESB	80,00%	3,513
OpenESB	92,00%	4,293

#### IV. CONCLUSIONES

Para el estudio de comparación de los ESB Mule ESB y Open ESB, se identificaron las características que sirvan como parámetros de análisis tanto de funcionalidad como de rendimiento.

Se determina como mejor opción a OpenESB por brindar un mejor rendimiento y operatividad, en la simulación se pudo observar que proporciona una mejor eficiencia y durabilidad, ofreciendo herramientas para diseño, desarrollo, pruebas y despliegue de aplicaciones.

Con un despliegue de mensajes de mayor tamaño, disminuye el rendimiento de los dos ESB notablemente. Se justifica este fenómeno por la cantidad de tiempo de procesamiento extra que requieren los buses de servicio para procesar los mensajes.

OpenESB cumple con todos los requisitos planteados por el prototipo y que luego permitirán implementar la aplicación de facturación electrónica, considerando que la mayoría de sistemas informáticos en el Ecuador no requieren de un alto volumen de transacciones.

#### V. REFERENCIAS

- [1] E. F. M. E. & T. L. P. A. Borja, «ESPECIALIZACION EN PROCESOS PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE,» 2011.
- [2] R. Z. F. J. G. Rafael Corchuelo, «Un Marco de Referencia para Comparar ESBs desde la Perspectiva de la Integración de Aplicaciones,» XIII Jornadas de Ingeniería del software y base de datos (JISBD2008), 2008.
- [3] Secretaría Nacional de la Administración Pública, «Secretaría Nacional de la Administración Pública - Ecuador,» abril 2008. [En línea]. Available: <http://www.administracionpublica.gob.ec/software-libre/>. [Último acceso: 2016].
- [4] Mule, «Mule ESB,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.mulesoft.com/resources/esb/what-mule-esb>.
- [5] OpenESB Community, «OpenESB home,» [En línea]. Available: <http://open-esb.net/>.
- [6] R. L. Asankha C. Perera, «ESB Performance,» 2013. [En línea]. Available: <http://esbperformance.org/display/comparison/why-the-round-6.5-results-published-by-wso2-is-flawed.html>.
- [7] CENATIC, «Plataforma de interoperabilidad aspectos tecnológicos,» [En línea]. Available: <http://www.cenatic.es/laecsp/page21/page22/page22.html>.
- [8] R. L. Asankha Perera, «ESB Performance,» Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://esbperformance.org/display/comparison/Framework+-+Performance+Test+Cases>. [Último acceso: 2016].

# Diseño e implementación de un Sistema de Medición Inteligente para AMI de la microrred de la Universidad de Nariño

Andrés F. Arciniegas M.  
Universidad de Nariño, Colombia  
[arciandres@gmail.com](mailto:arciandres@gmail.com)

David Esteban Imbajoa R.  
Universidad de Nariño, Colombia  
[pokra311@gmail.com](mailto:pokra311@gmail.com)

Cristhian E. Medina O.  
Universidad de Nariño, Colombia  
[Cristhian.medina@hotmail.com](mailto:Cristhian.medina@hotmail.com)

Javier Revelo F.  
Universidad de Nariño, Colombia  
[javierrevelof@udenar.edu.co](mailto:javierrevelof@udenar.edu.co)

**Abstract—** This project describes a proposed Measure Management System, from the design stage to the implementation of a prototype smart meter, adapted to the microgrid at the University of Nariño. This device features a constant record of measures, with sufficient resolution 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.

**Key Words –** Smart meter, AMI, smart grid, microgrid, cybersecurity

**Resumen—** Este proyecto describe la propuesta de un Sistema de Gestión de Medida desde el diseño hasta la implementación de un prototipo de medidor inteligente, para la microrred de la Universidad de Nariño. Este dispositivo se caracteriza por el constante registro de medidas, con resolución 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, microrred, ciberseguridad.

## I. 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 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 [1]. 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 de 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 [2]. 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. [3]

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. [4]

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.

## II. MICRORED UNIVERSITARIA – UNIVERSIDAD DE NARIÑO

El proyecto ALTERNAR, es una iniciativa del Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica –GIEE- 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.

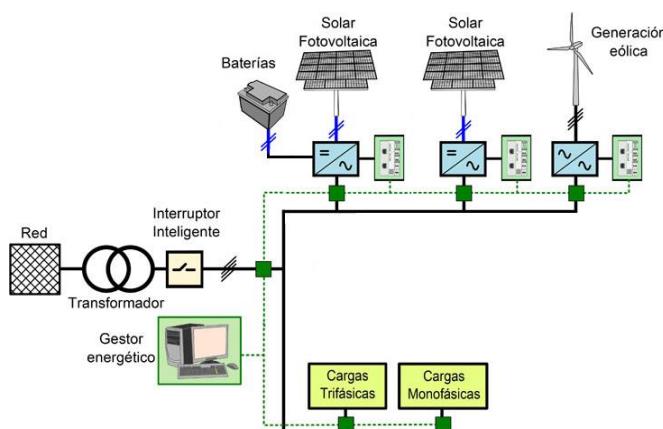


Figura 1. Diagrama general de la microrred de la Universidad de Nariño

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 híbrido 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.

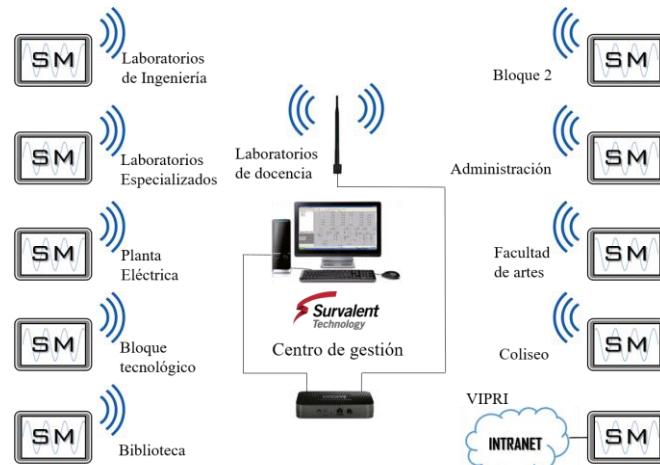


Figura 2. Topología del sistema de comunicación de estaciones de medición con el centro de gestión en microrred de la Universidad de Nariño

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.

### III. 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.

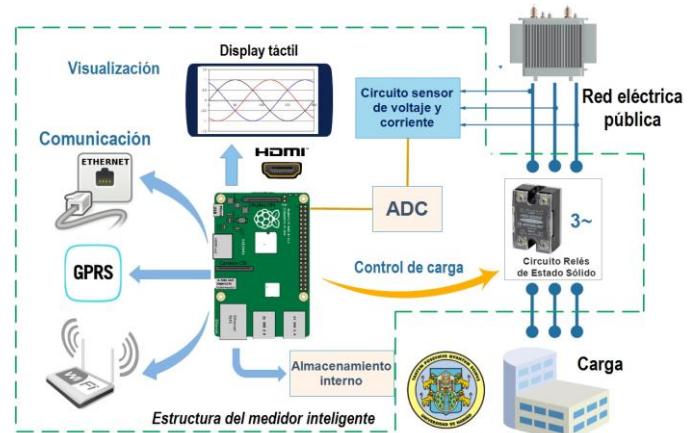


Figura 3. Estructura del Medidor. La línea verde punteada limita los módulos interiores del medidor. Se destaca la pantalla táctil de visualización, los tipos de comunicación, la lectura de medidas y el control de carga

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 Survant®.

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:

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 [5][6].

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.

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.

*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.

*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 [7]. Se desarrolló la codificación de los mismos a partir de bibliotecas de código libres [8], 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. En la Figura 4 se detalla el esquema de comunicaciones de los medidores.

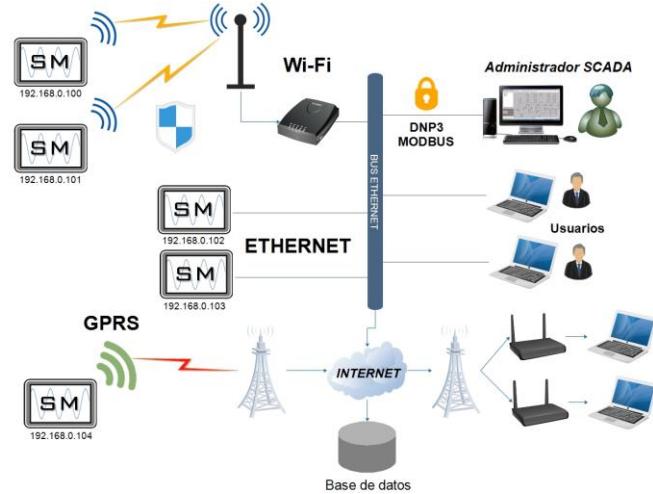


Figura 4. Topología de comunicaciones del medidor con los usuarios. Se destaca los tres canales de comunicación: Puerto Ethernet, Wi-Fi y GPRS

*5) Datos y visualización:* El dispositivo, aparte de obtener medidas de tensión y corriente de tres entradas, se programó para calcular la frecuencia de la señales, y medidas de calidad de la energía, como son el Factor de Potencia y la Distorsión armónica [9]. 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 5.

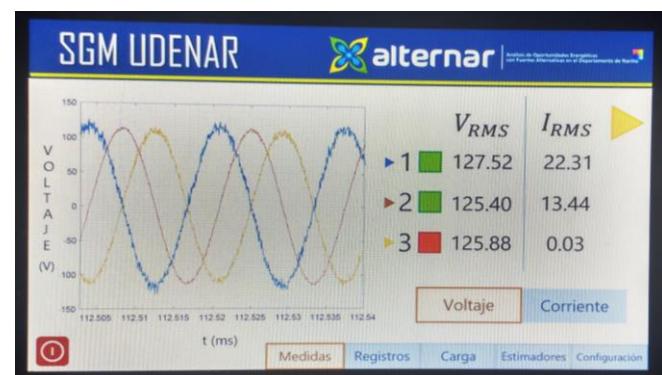


Figura 5. Imagen del dispositivo implementado. Se muestra la interfaz de usuario del equipo, evidenciando la conexión de tres cargas de baja tensión.

Las dos primeras cuentan con flujo de corriente, y la tercera se ha suspendido.

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. En la Figura 6 se muestra una captura de imagen del aplicativo web descrito.



Figura 6. Captura de pantalla de interfaz de usuario en aplicativo web ejecutado en el servidor de la universidad, ubicado en la sección de configuración. La interfaz de conexión directa tiene un aspecto similar.

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. [10]

Este sistema es aplicable a diferentes modelos, y en este caso se aplica al eléctrico. Permite supervisar el proceso, obtener

históricas 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, como se muestra en la Figura 2.

### B. Ciberseguridad en la red

En un estudio detallado en [11], 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 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 interesante para ataques con códigos maliciosos.

Los protocolos de SCADA, como Modbus, IEC 61850 y DNP3, que son utilizados para controlar el flujo de energía entre nodos de conexión además de otras cosas, 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 en [12], 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* [13], 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 [14].

El sistema garantiza el correcto funcionamiento de 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.

Con la rigidez de la arquitectura de la tecnología usada, teniendo en cuenta, además, los servicios que brinda la estructura a la comunidad o usuario afín, una microrred, y más aún una Smart-Grid, se convierten en un objetivo altamente atractivo para “hackers” que buscan un impacto negativo, como principal razón. Incluso puede ser de interés para científicos en el campo, que, sin tener malas intenciones, buscan hacer pruebas con la valiosa información recolectada.

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 o 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 7 se detalla la amplitud del análisis y su alcance dependiendo del período de muestreo distinguido. El presente sistema posee capacidad de abordar todos los períodos de la imagen, pero en el caso de estudio se presenta una predicción asociada al análisis por días.

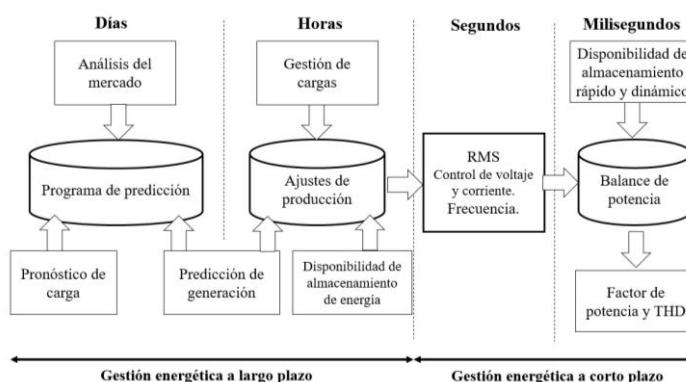


Figura 7. Clasificación por períodos de tiempo de funcionalidades de control para EMS.

## IV. RESULTADOS.

### 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 ( $\tilde{P}_{P_{24h}} \text{ KW}$ ), 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 ( $\Delta t$ ). 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, como se muestra en la Figura 8.

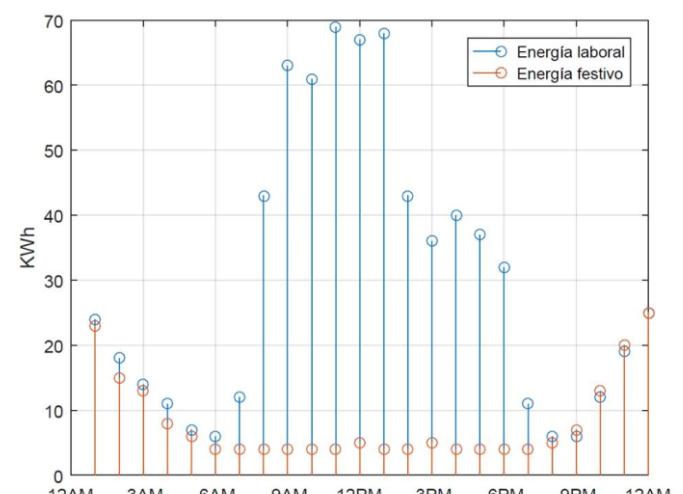


Figura 8. Perfil de consumo horario de energía eléctrica para dos días en la frontera de la subestación de Rio Mayo. Centrales Eléctricas de Nariño.

Haciendo uso de la expresión matemática (1), se estimó el consumo para los dos días registrados en la figura 7, donde resultados obtenidos se pueden ver en la Figura 8, con un error de estimación menor al 2%.

$$\tilde{EPE}_h = \int_{t_0+nT_e}^{t_0+(n+1)T_e} \tilde{P}_{P_{24h}}(t) dt = (T_e)\tilde{P}_{P_{24h}}(t_0 + nT_e) \quad (1)$$

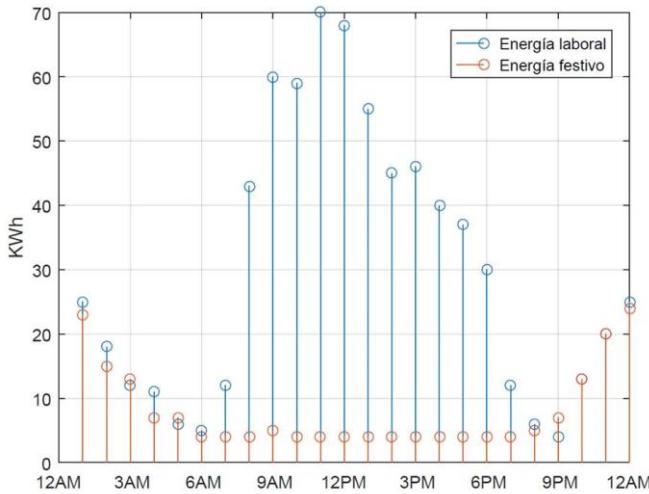


Figura 8. Perfil de consumo horario estimado de energía eléctrica para dos días de análisis en la frontera de la subestación de Rio Mayo. Centrales Eléctricas de Nariño

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 9 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.

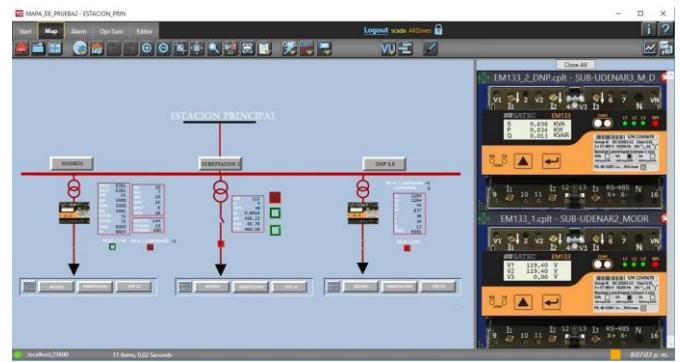


Figura 9. Captura de pantalla de software para gestión de microrred y SCADA Survalent.

#### V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

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 avanzado 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 períodos 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 tarjeta de adquisición o la pantalla táctil.

## VI. AGRADECIMIENTOS.

Se destaca el constante apoyo del Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica – GIIEE- adscrito al Departamento de Electrónica de la Universidad de Nariño, en especial al proyecto ALTERNAR y sus promotores, que mediante su financiación y asesoría han permitido la realización del presente trabajo de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Farhangi, Hassan. "The path of the smart grid." IEEE power and energy magazine 8.1 (2010): 18-28.
- [2] Ipakchi, Ali, and Farrokh Albuyeh. "Grid of the future." IEEE Power and Energy Magazine 7.2 (2009): 52-62.
- [3.1] National Energy Technology Laboratory for the U.S Department of Energy. "Advanced Metering Infrastructure", NETL Modern Grid Strategy Powering our 21<sup>st</sup>-century Economy. February 2008
- [3] Chen, Changsong, et al. "Smart energy management system for optimal microgrid economic operation." IET renewable power generation 5.3 (2011): 258-267.
- [4] Hart, David G. "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. 2008.
- [5] Maksimović, Mirjana, et al. "Raspberry Pi as Internet of things hardware: performances and constraints." design issues 3 (2014): 8.
- [6] Callaghan, Victor. "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. 2012.
- [7] Clarke, G. R., Reynders, D., & Wright, E. (2004). Practical modern SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems. Newnes.
- [8] Automatak *opendnp3* (2016). Disponible en <https://www.automatak.com/opendnp3/>
- [9] W. Mack Grady, Robert J. Gilleskie. "Harmonics and how they relate to power factor". Proceedings of the EPIR Power Quality Issues & Opportunities Conference. November 1993.
- [10] Boyer, Stuart A. SCADA: supervisory control and data acquisition. International Society of Automation, 2009.
- [11] 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.
- [12] Tonyali, S., Cakmak, O., Mahmoud, M., & Guvenc, I. Secure Data Obfuscation Scheme to Enable Privacy-Preserving State Estimation in Smart Grid AMI Networks.
- [13] Jiao, Z., Gong, H., & Wang, Y. A DS Evidence Theory-based Relay Protection System Hidden Failures Detection Method in Smart Grid. IEEE Transactions on Smart Grid.
- [14] Yan, J., He, H., Zhong, X., & Tang, Y. Q-learning Based Vulnerability Analysis of Smart Grid against Sequential Topology Attacks. IEEE Transactions on Information Forensics and Security.

# Evaluación y Selección de Herramientas de Arquitectura Empresarial para la Gestión del Conocimiento

## *Evaluation and Selection of Enterprise Architecture Tools for Knowledge Management*

Oswaldo Moscoso-Zea

Facultad de Ciencias de Ingeniería  
Universidad Tecnológica Equinoccial  
Quito, Ecuador  
omoscoso@ute.edu.ec

Sergio Luján-Mora

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos  
Universidad de Alicante  
Alicante, España  
sergio.lujan@ua.es

**Resumen** — La gestión del conocimiento (GC) es una herramienta de administración que permite la creación, uso, distribución y transferencia del conocimiento en organizaciones. En un estudio previo se presentó un marco de referencia de GC que incluía componentes de inteligencia de negocios y de arquitectura empresarial (AE) para la implementación de proyectos de GC en organizaciones. La AE es usada en este marco de referencia para digitalizar, relacionar y visualizar las siguientes dimensiones de conocimiento: estructura organizacional, procesos de negocio, aplicaciones e infraestructura tecnológica. Este artículo tiene como objetivo evaluar el rol de AE como un componente clave en el marco de referencia de GC propuesto. Para esto es importante determinar cuáles son las herramientas tecnológicas de AE que existen en el mercado. Además, en este trabajo se plantea un enfoque de evaluación y selección de herramientas de AE. La metodología usada para la investigación fue cualitativa y exploratoria a través de un caso de estudio desarrollado en una empresa de logística con presencia internacional.

**Palabras Clave:** Gestión del Conocimiento; Arquitectura Empresarial, Evaluación de Herramientas de Arquitectura Empresarial.

**Abstract** — Knowledge Management (KM) is a tool that allows the creation, use, distribution and transfer of knowledge in organizations. In a previous study, a KM framework was presented. This framework was designed using enterprise architecture (EA) and business intelligence for the implementation of KM projects in organizations. EA is used in this framework 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 the proposed KM framework. For this, it is important to determine the existing IT tools in the market. Furthermore, in this work an approach for the evaluation and the selection of EA tools is proposed. The methodology used for the investigation was qualitative and exploratory by means of a case study performed in an international logistic service provider.

**Keywords:** Knowledge Management; Enterprise Architecture; Evaluation of Enterprise Architecture Tools.

### I. INTRODUCCIÓN

La innovación en la ciencia y en la tecnología ha dado lugar a la aparición de 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 [1].

Las principales dimensiones que se deben analizar en un proyecto de GC son las personas, los procesos y la tecnología [2]. En un estudio previo realizado como parte de un proyecto de investigación, se propuso un marco de referencia de gestión del conocimiento [3]. 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 AE como un componente clave para la gestión del conocimiento 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 [4].

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 presenta 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 gestión del conocimiento y como se debería llevar un proceso de selección y evaluación de software o de

herramientas de AE. Finalmente, se presentarán las conclusiones de la investigación en la sección 4.

## II. MARCO TEÓRICO

En esta sección se presenta la investigación bibliográfica realizada para este trabajo.

### A. Gestión del Conocimiento

El conocimiento es uno de los recursos claves que puede fortalecer el posicionamiento de una organización [5]. Un recurso debe ser valioso, raro e imperfectamente imitable con el fin de que la organización pueda mantener una ventaja competitiva [6]. 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 [7].

La GC es “el proceso de identificar, recolectar y aprovechar el conocimiento colectivo de una organización para potenciar a que la organización compita” [8]. 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” [9]. 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.

### B. Arquitectura Empresarial

En la actualidad no existe unanimidad en la definición de AE. Una de las razones para que no exista acuerdo en una definición estándar podría ser porque la práctica de AE se encuentra todavía en una etapa de evolución [10]. De acuerdo a Lankhorst [11] “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 [12] “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 claves, 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 [13]. 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 [14]. 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* describe muy bien a un marco de arquitectura como: “Un marco de arquitectura es 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” [15]. Un framework sirve para guiar el esfuerzo (operacional) o para estructurar la información organizacional (conceptual) [16]. Como se puede ver, los marcos de AE proveen un conjunto de guías y mejores prácticas para la implementación y mantenimiento de AE

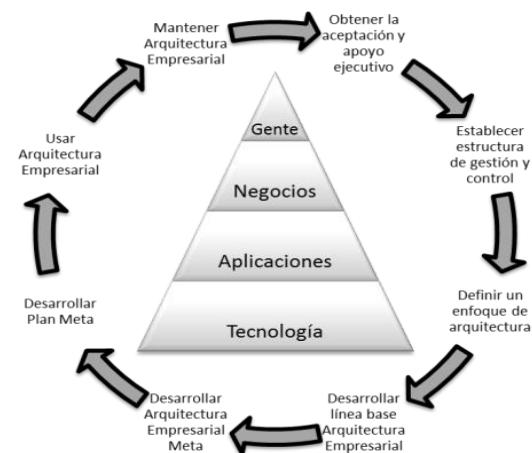


Figura 1: Arquitectura Empresarial. Basado en: [17]

### C. Herramientas de AE 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 generar 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 [18].

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 [19]. 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 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 tecnologías de información (TI) 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 el menor de los riesgos.

### III. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El objetivo de esta investigación es el de describir el rol de la AE como elemento importante para gestionar el conocimiento organizacional y para conducir un cambio efectivo por medio de otorgar la visibilidad necesaria a los directivos a través de la presentación de modelos en distintos niveles de arquitectura. Además, en esta investigación se detallan estudios que presentan varias herramientas de AE que existen en el mercado y se detalla un enfoque para la digitalización del conocimiento organizacional y para la evaluación y selección de una herramienta de acuerdo al escenario 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 [20].

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 gestión del conocimiento [21].

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 el *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

Esta investigación fue realizada en cooperación con un proveedor de servicios logísticos con presencia internacional. Las actividades realizadas, validadas y que se sugieren realizar para la digitalización del conocimiento son las siguientes:

1. Análisis de los diferentes departamentos e identificación de interesados.
2. Evaluación y selección de la herramienta de AE por parte de un equipo especializado.
3. Documentar y modelar las actividades del personal, los procesos que realizan y las aplicaciones e infraestructura tecnológica que los soporta. Para llevar a cabo esta actividad se pueden organizar talleres o entrevistas.
4. Ver posibilidades de mejora de los procesos o automatización y diseño del estado futuro de los procesos.

El detalle de las actividades a realizar para la GC es el siguiente:

#### 1. Análisis de departamentos e interesados

Definir el alcance, los interesados y los departamentos que participarán en la digitalización del conocimiento. Para esto es importante nombrar un responsable de la organización que defina junto con el arquitecto el alcance del proyecto e identifique los interesados. La identificación de los interesados puede llevarse a cabo usando la matriz de poder–interés [22]. 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: en 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.

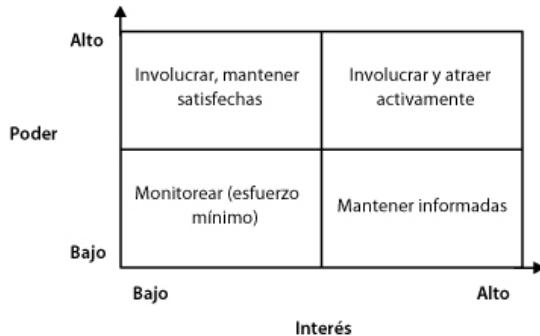


Figura 2: Matriz de interesados poder-interés

## 2. Evaluación y selección de herramienta de AE

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 herramientas de AE se basan en el estándar Archimate [18]. 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 Múnich [23], la guía de selección de herramientas de AE del Instituto de Desarrollo de AE [18] y la encuesta de herramientas de AE de la empresa Syracom [24]. 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 [27]. En cuanto a la curva de Forrester, la última publicada es del 2015, la misma ubica a Alphabet y a Orbus software como líderes [28].

Posterior a esto se debe realizar un pre-procesamiento, limpieza y filtrado de información para descartar aquellas herramientas que hayan salido del mercado y aquellas cuyas empresas comercializadoras han sido adquiridas o fusionadas. Como resultado de esta fase se debe obtener una lista de herramientas que serán evaluadas.

Después de investigar artículos con metodologías de evaluación de software [29], y de clasificar aquellos que se ajustan a evaluación de herramientas de AE, se pudo reducir el número de artículos de 52 a 3. Los criterios de reducción

fueron los siguientes: 1) metodologías específicas para un determinado tamaño de empresa 2) metodologías específicas para un software concreto 3) no incluyen metodología de selección 4) requieren de un escenario de evaluación complejo. Las metodologías seleccionadas después de este proceso se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Metodologías de Evaluación de Software para AE

Autor(es)	Tipo de Software
Comella-Dorda et al	Software Comercial
Kontio et al	Software Comercial
Morera	Software Comercial

Para evaluar y seleccionar una herramienta de AE es importante formar un equipo de evaluación que conozca del negocio y de los objetivos que se busca con AE. Además, es muy valioso que el evaluador conozca de la infraestructura tecnológica ya que se puede integrar bases de datos de gestión de configuración y software de gestión de procesos con la nueva herramienta de AE lo que disminuirá el tiempo de modelamiento futuro. Se sugiere elegir una de las metodologías de la Tabla 1.

## 3. 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. Se sugiere además modelar mientras se llevan a cabo las reuniones o talleres

## 4. Mejora de los procesos

Luego de digitalizar el estado actual de los procesos es importante aprovechar las reuniones de levantamiento de información y realizar lluvia de ideas para conceptualizar y sugerir mejoras, estandarizar y eliminar redundancias. En esta etapa se crea el 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.

## IV. CONCLUSIONES

La AE juega un rol sumamente importante como herramienta de GC en organizaciones. Se sugiere seguir el enfoque de GC detallado en este documento para poder transformar el conocimiento tácito de los empleados en conocimiento explícito que permita el análisis de esta información.

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.

Para poder elegir la mejor herramienta de AE para la GC es altamente recomendable utilizar una metodología de evaluación y selección de software. El software elegido debe alinearse completamente a los requisitos de los directivos de la empresa y a las metas del proyecto de GC.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. M. Campbell, "The role of organizational knowledge management strategies in the quest for business intelligence," *Eng. Manag. Conf. 2006 IEEE Int.*, pp. 231–236, Sep. 2006.
- [2] J. Edwards, "A Process View of Knowledge Management : It Ain ' t What you do , it ' s the way That you do it," *J. Knowl. Manag.*, vol. 9, no. 4, pp. 297–306, 2011.
- [3] O. Moscoso-Zea, S. Luján-Mora, N. Schweimanns, and C. Esquetini, "Knowledge Management Framework using Enterprise Architecture and Business Intelligence," *18th Int. Conf. Enterp. Inf. Syst.*, pp. 244–249, 2016.
- [4] R. Bricknal, G. Darrell, H. Nilsson, and K. Pessi, "Enterprise Architecture: Critical Factors affecting modelling and management," 2011. [Online]. Available: [http://pdf.aminer.org/000/245/735/enterprise\\_architecting\\_critical\\_problems.pdf](http://pdf.aminer.org/000/245/735/enterprise_architecting_critical_problems.pdf).
- [5] C. Curado, "The knowledge-based view of the firm," *Inst. Super. Econ. e Gest.*, no. 1959, p. 18, 2006.
- [6] B. Wernerfelt, "A Resource-based View of the Firm," *Strateg. Manag. J.*, vol. 5, pp. 171–180, 1984.
- [7] K. Karmemente, J. R. Aduwo, E. Mugejerra, and J. Lubega, "Knowledge Management Frameworks," *Strength. Role ICT Dev.*, pp. 35–57, 2009.
- [8] M. Alavi and D. E. Leidner, "Knowledge Management and Knowledge Management Systems," *MIS Q.*, vol. 25, no. 1, pp. 107–136, 2001.
- [9] J. Rowley, "From learning organisation to knowledge entrepreneur," *J. Knowl. Manag.*, vol. 4, no. 1, pp. 7–15, 2000.
- [10] K. Ivanov, "10 Definitions of Enterprise Architecture," 2009. [Online]. Available: <http://www.ariscommunity.com/users/koiv/2009-08-20-10-definitions-enterprise-architecture-which-corresponds-yours>. [Accessed: 06-Oct-2012].
- [11] M. Lankhorst, *Enterprise Architecture at Work Modelling Communication and Analysis*, 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.
- [12] Gartner Inc., "Gartner IT Glossary," 2013. [Online]. Available: <http://www.gartner.com/it-glossary/enterprise-architecture-ea/>. [Accessed: 18-Mar-2013].
- [13] H. Proper and M. Lankhorst, "Towards essential sensemaking," *Enterp. Model. Inf. Syst. Archit.*, vol. 9, no. 1, pp. 5–21, 2014.
- [14] M. de Vries and A. van Rensburg, "EA - New business value perspectives," *Southafrican J. Ind. Engeneering*, vol. 19, pp. 1–16, 2008.
- [15] The Open Group, "TOGAF ® Version 9.1," 2011. [Online]. Available: <http://goo.gl/djuv15>.
- [16] D. Matthes, *Enterprise Architecture Kompendium*. Springer-Verlag, 2011.
- [17] R. Tucker and D. Debrosse, "Enterprise Architecture Roadmap for Modernization," *Enterp. Mod. Issue*, vol. 7(2), 2003.
- [18] J. Schekkerman, "Enterprise Architecture Tool Selection Guide," *Inst. Enterp. Archit. Dev.*, 2011.
- [19] M.-E. Iacob, H. Jonkers, D. Quartel, H. Franken, and H. van den Berg, *Delivering Enterprise Architecture with TOGAF and Archimate*. 2012.
- [20] P. Johnson, R. Lagerstrom, P. Narman, and M. Simonsson, "Enterprise architecture analysis with extended influence diagrams," *Inf Syst Front*, vol. 9, pp. 163–180, 2007.
- [21] N. Narman, P; pontus, johnson; lars, "Enterprise architecture: A framework supporting system quality analysis," *Enterp. Distrib.* ..., pp. 130–141, 2007.
- [22] F. Ackermann and C. Eden, "Strategic Management of Stakeholders: Theory and Practice," *Long Range Plann.*, vol. 44, no. 3, pp. 179–196, 2011.
- [23] F. Matthes, S. Buckl, J. Leitel, and C. M. Schweda, "Enterprise Architecture Management Tool Survey 2008," 2008.
- [24] R. Knoll and C. Schulz, "Enterprise Architecture Tool Survey 2013," Wiesbaden, 2013.
- [25] Gartner Inc., "Gartner Principles," 2013. [Online]. Available: [http://www.gartner.com/technology/about/ombudsman/omb\\_guide2.jsp](http://www.gartner.com/technology/about/ombudsman/omb_guide2.jsp). [Accessed: 18-Mar-2013].
- [26] Forrester, "About Forrester," 2013. [Online]. Available: <http://www.forrester.com/aboutus>. [Accessed: 10-May-2013].
- [27] Gartner Inc., "Gartner 2016 Magic Quadrant for Enterprise Architecture Tools," 2016. [Online]. Available: <http://www.mega.com/en/resource/gartner-2016-magic-quadrant-enterprise-architecture-tools>. [Accessed: 20-Aug-2016].
- [28] Forrester, "Forrester Wave EAM Suites," 2016. [Online]. Available: <https://info.softwareag.com/forrester-wave-2015-enterprise-architecture-management-eam-alfabet.html>. [Accessed: 20-Aug-2016].
- [29] A. S. Jadhav and R. M. Sonar, "Evaluating and selecting software packages: A review," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 51, no. 3, pp. 555–563, Mar. 2009.

# **Sesión de Pósteres**

# Business Intelligence: Revisión de literatura

Paul Rosero<sup>1,2</sup>, Edwin Rosero<sup>1</sup>, Diego Peluffo<sup>1</sup>, Carlos Pupiales<sup>1</sup>, Luis Beltrán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte

<sup>2</sup>Intituto Tecnológico 17 de Julio

**Abstract**— *Business Intelligence (BI) es el conjunto de estrategias y herramientas para analizar gran cantidad de volúmenes de datos con el fin de encontrar patrones o tendencias de consumo de las personas y establecer estrategias de negocio, para lograr este objetivo es necesario contar con servicios y aplicaciones como RealTime BI, Social BI, Cloud BI, BI 3.0, Business Analytics y Mobile BI. Todo el proceso de BI es soportado por diferentes análisis en grandes volúmenes y diferentes fuentes de datos, considerado como Big Data. En este trabajo se hace relación a las funcionalidades y los requerimientos necesarios de BI desde un concepto inicial hasta conceptos específicos.*

**Keywords**—Big data, Business Intelligence, Business, competitive intelligence

## I. INTRODUCTION

Las empresas continuamente buscan nuevos segmentos de mercado que conllevan a nuevos modelos de negocio, los usos de métodos de análisis de datos ayudan a medir el rendimiento para la toma de decisiones y poder aumentar la eficacia de una estrategia de venta, este proceso define el éxito de un producto o servicio. *Business Intelligence (BI)* permite la gestión de información en el momento adecuado y extraer conocimiento para la toma de decisiones empresariales, siendo la clave del éxito en las organizaciones, se debe invertir en la infraestructura sea física o en la nube para su implementación [1]. De acuerdo con [3], para la implementación de BI es necesario reconocer el tiempo de ejecución de la estrategia, las metas de la organización y los objetivos planteados con un segmento de mercado claro, tomando en cuenta la relación deseada a entablar con el cliente. La infraestructura de un BI debe contar una una plataforma BI de administración, una plataforma como servicio (Cloud BI), seguridad y administración de usuarios y conectividad a las fuentes de datos con capacidad de administración de metadatos, procesos de ETL (extracción, transformación y carga), como una fase de preparación de datos [4].

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera: En la sección II se habla sobre la evolución de BI, la sección III sobre big data, el capítulo IV sobre los servicios y aplicaciones de BI, en la sección V se documenta el uso de machine learning para BI y finalmente en la sección VI se presenta una breve discusión y comentarios finales.

## II. EVOLUCIÓN DE BUSINESS INTELLIGENCE

### A. BI 1.0

E es considerado como el principio de BI y es un enfoque centrado en datos usando el modelo cliente servidor con datos

mayormente estructurados en sistemas de gestión relacionales y primeros principios de ETL, y sus informes eran basados en intuiciones básicas [5] [6].

### B. BI 2.0

Con el acceso a Internet mediante protocolos web como HTTP (protocolo de transferencia de hipertexto) permitió que los procesos de BI sean factibles para diferentes tamaños de empresas, dando lugar al BI 2.0. Simplificando la adquisición de información, fue posible extraer de forma independiente los datos generados sin requerir que el usuario sea expertos en TI, proporcionando mayor flexibilidad y escalabilidad en los sistemas, ya que pueden segmentar al cliente por direcciones de red y se recogían datos a través de cookies y registros de servidores. Posteriormente, en el año 2000, BI 2.0 ya se basaba en los análisis web no estructurados dando cierta complejidad a los administradores de TI [5] [6].

### C. BI 3.0

El uso frecuente de BI 2.0 atrajo a procesos de investigación y de industria por el impacto de los resultados, dio lugar a la nueva versión BI 3.0. El número de teléfonos móviles y tabletas superaron al número de computadoras (380 millones), siendo aproximadamente 480 millones, y en el 2020 se prevé que existan 10 mil millones de dispositivos móviles. Esto supone una transformación de la dinámica sociedad y de la forma cómo se almacena, procesa, analiza y visualiza los datos.

BI 3.0 permite explorar en forma de representación de datos interactiva e intuitiva que debe cerrar la brecha entre la empresa y el consumidor para convertirse en un componente central en el esfuerzo continuo para mejorar el negocio mediante la interacción con redes sociales, siendo fácilmente disponibles y multiplataforma [5] [6].

## III. BIG DATA

El crecimiento de datos como música, videos, correos electrónicos o texto no estructurados aumenta la complejidad en las bases de datos. En [7] se define big data en el orden de peta ( $10^{15}$ ) o zetta ( $10^{21}$ ) bytes de información, la cual implica un procesamiento complejo que debe ser ejecutado a una gran velocidad por lo cambiante de la información en relación a los tera bytes por día. Las infraestructuras de TI necesitan un análisis para determinar la veracidad de los datos con el fin de agregar valor la información y lograr un ventaja competitiva. Los gerentes pueden medir y conocer el desarrollo de su empresa, un ejemplo de esto es la reconocida empresa Amazon [8]. Los datos pueden ser estructurados, semi-estrucutados, quasi estructurados y no estructurados.

Con la manipulación de los datos se pueden hacer pronósticos del comportamiento del cliente. Algunos autores afirman que la calidad de los datos es más importante que su volumen, sin embargo, cuánto mayor es la cantidad de datos estén disponibles, es mejor la definición de un modelo de pronóstico [9]. En general, los tipos de análisis se pueden clasificar en: análisis descriptivo que se basan en análisis de datos históricos y actuales para determinar las relaciones y tendencias para identificar la acción que debe tomarse [9], el análisis descriptivo está relacionado en cómo y porqué las personas actúan y de la forma como lo hacen [10], análisis predictivo estudia los datos del pasado para determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento, sirve de guía para la toma de decisiones, pero siempre se basa en una probabilidad [9] que le indica al análisis prescriptivo dónde se encuentra y hacia donde debe dirigirse para evaluar los riesgos desde un punto de vista y tener una visión del futuro, es muy usada en la venta cruzada, la detección de fraude, gestión de riesgo, etc. [15][11] y el análisis causal donde busca los motivos de los resultados de los objetivos de la empresa propuestos y encontrar las causas que originan los problemas para proponer una solución en los diferentes niveles de una empresa [12]

#### IV. SERVICIOS Y APLICACIONES

Una plataforma de BI su principal función es proporcionar reportes a diferentes niveles de la empresa para la toma de decisiones, esta visualización debe ser interactiva y transparente de las consultas realizadas a las bases de información.

##### A. CLOUD BI

El almacenamiento de big data requiere una gran infraestructura de TI, lo servicios en la nube (Cloud) permite reducir costes, eliminar licencias siendo flexible y disponible. Con servicios de las arquitecturas de red en la nube con capas de gestión, seguridad y desarrollo de aplicaciones, cada empresa debe decidir el nivel de uso del cloud para el desarrollo de BI entre: SaaS (Software como Servicio), PaaS (Plataforma como Servicio) y IaaS (Infraestructura como servicio) [13].

La implementación en la nube de BI se necesita una estrategia bien definida orientada a servicios a nivel de la organización, una estrategia de Cloud BI contiene las siguientes 6 etapas. La iniciación para identificar la estrategia o el objetivo de negocio, en análisis y evaluación de estado del negocio, diseñar la solución de Cloud BI, la evaluación del proveedor de Cloud, la implementación de la estrategia de Cloud BI y finalmente la gestión del Cloud [14].

##### B. SOCIAL BI

La tendencia a redes sociales permite a BI interactuar de mejor manera con los usuarios mediante un análisis profundo de información para ofrecer nuevas oportunidades de conocer deseos, necesidades y demandas de un cliente. Social BI se presenta para sistematizar los datos de las redes sociales y generar modelos de datos multidimensionales para la demanda

de productos, social BI es conocido también como CRM social. [15]

##### C. REAL-TIME BI

Se trata de reducir la brecha entre los datos al ingresar al sistema y cuando ellos pueden ser procesados para conseguir información para la toma de decisiones a su brevedad, REAL-TIME BI no tiene solo como objetivo procesar información lo más rápido posible, su objetivo es procesar en el tiempo indicado el volumen de datos necesarios, este proceso permite adaptarse con mayor rapidez a las nuevas tendencias de negocio [16].

##### D. MOBILE BI

El 33 % de los reportes de dashboard (tablero de instrumentos) se lo realizan desde los celulares y el 60% de corporaciones usan algún tipo de dispositivo móvil para los reportes [4], son los recursos físicos para el acceso de todos los servicios de BI, ya que puede monitorear en tiempo real los KPI's (métricas del negocio) de la empresa, pueden los empleados entregar información desde cualquier lugar, se generan alertas en ventas y brinda soporte a decisiones urgentes [17].

##### E. BUSINESS ANALYTICS

Es el análisis del rendimiento de un BI, es la etapa que no tiene que ver con la infraestructura, hace relación a la efectividad de las tomas de decisión, es encuentra en la etapa entre el Cloud BI y la estadística aplicada, es el enfoque de negocios de un BI, software como IBM Cognos [18] explota las herramientas de BI y brinda formas de mediar de decisiones en relación a KPI's de la empresa.

#### V. DISCUSIÓN Y COMENTARIOS FINALES

BI es la plataforma de una empresa para el análisis de información para la predicción de patrones del mercado y se pueda tomar una decisión correcta mediante la visualización interactiva de información. La infraestructura BI con sus múltiples servicios en la nube permite dar un correcto rumbo de negocio a las empresas que se basan en algoritmos para realizar diferentes tipos de análisis.

Existen muchas empresas encargadas de brindar la plataforma o el servicio de BI, pero es necesario contar con una metodología adecuada para la selección de la misma. El mayor reto de BI es el exponencial crecimiento de información que debe ser procesada en tiempo real con una visualización móvil.

#### VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Bouchana y M. Janati Idrissi, «Towards an assessment model of end user satisfaction and data quality in Business Intelligence Systems,» *10th International Conference on Intelligent Systems*, nº 10, pp. 1-6, 2015.

- [2] R. Hans, «Modeling software engineering projects as a business: A business intelligence perspective,» *AFRICON*, pp. 1-5, 2013.
- [3] B. Nustara y Y. Lisanti, «Business Intelligence design on the company,» *International conference on e-Education, Entertainment and e-Management*, pp. 356-361, 2011.
- [4] Gartner.com, «Magic Quadrant for Business Intelligence and Analytics Platforms,» 04 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://gartner.com/>. [Último acceso: 29 Julio 2016].
- [5] L. James, «Yellowfin,» 10 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://www.yellowfinbi.com/YFCommunityNews-Defining-Business-Intelligence-3-0-159445>. [Último acceso: 29 Julio 2016].
- [6] H. Chen, R. Chiang y V. Storey, «BUSINESS INTELLIGENCE AND ANALYTICS: FROM BIG DATA TO BIG IMPACT,» *MIS Quarterly*, vol. 36, nº 4, pp. 1165-1188, 2012.
- [7] A. McAfee y E. Brynjolfsson, «Big Data: The Management Revolution,» *Harvard Business Review*, pp. 59-63, 2012.
- [8] S. Raza Quresh y A. Gupta, «Towards Efficient Big Data and Data Analytics: A review,» *IT in Business, Industry and Government (CSIBIG), 2014 Conference on*, pp. 1-6, 2014.
- [9] M. Mircea y M. Stoica, «Combining Business Intelligence with Cloud Computing to Delivery Agility in Actual Economy,» *CiteSeerX*, pp. 1-16, 2016.
- [10] S. Ouf y M. Nasr, «The Cloud Computing: The Future of the BI in the Cloud,» *PorQuest*, pp. 750-761, 2011.
- [11] M. Rosemann y M. Eggert, «LEVERAGING SOCIAL NETWORK DATA FOR ANALYTICAL CRM STRATEGIES - THE INTRODUCTION OF SOCIAL BI,» *AIS Electronic Library*, pp. 95-101, 2012.
- [12] G. Finnie y J. Barker, «Real-Time Business Intelligence in Multi-Agent Adaptive Supply Network,» *ePublications*, pp. 1-5, 2005.
- [13] I. Chan, H.-K. Tan, P. Tan Lau y W. Yeoh, «State of the Art Review and Critical Success Factors for Mobile Business Intelligence,» *IBIMA Publishing*, pp. 1-10, 2013.
- [14] J. Evans y C. Lindner, «Business Analytics: The Next Frontier for Decision Sciences,» *Decision Science Institute*, 2002.
- [15] L. Solutions, Predictive Analytics, lantares.com, 2012.
- [16] D. Bell y H. T. A. Raiffa, Decision making Descriptive, normative and prescriptive interactions, Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [17] F. S. Pares, «DBA Business Analytics,» DBA, 2015. [En línea]. Available: <http://francescsanchezbi.webnode.es/news/estado-actual-del-analisis-prescriptivo/>. [Último acceso: 15 Agosto 2016].

# Desarrollo e implementación del prototipo del sistema ecoCar: un carro para niños con eficiencia de consumo de energía y una aplicación móvil

George Orlando ASCENCIO JORDÁN

Ingeniero en Electrónica, Universidad Espíritu Santo  
Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica  
Guayaquil, Ecuador  
gascencio@uees.edu.ec

Manuel Isaac REZABALA FRANCO

Ingeniero en Sistemas, Universidad Espíritu Santo  
Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica  
Guayaquil, Ecuador  
mrezabala@uees.edu.ec

Jorge Eduardo GONZÁLEZ FEIJÓO

Ingeniero en Electrónica, Universidad Espíritu Santo  
Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica  
Guayaquil, Ecuador  
jgonzalez@uees.edu.ec

Mónica Jeannette FLORES MARÍN

Ingeniera en electricidad con especialización en electrónica y  
automatización industrial, MBA. Cargo Docente Titular,  
Universidad Espíritu Santo  
Guayaquil, Ecuador  
mfloresm@uees.edu.ec

**Resumen—** El presente trabajo tiene la finalidad de desarrollar e implementar el prototipo del sistema conformado por: un vehículo para niños en conjunto con una aplicación móvil, denominado ecoCar; bajo las premisas de buscar eficiencia en el uso de energía por medio de paneles solares, además otorgar control remoto sobre el componente "carro para niños" y posicionamiento por medio de la geolocalización. Para la elaboración de dicho proyecto, se realizó un análisis comparativo de los equipos a utilizar y el respectivo diseño electrónico para el sistema de recarga de la batería que usa el carro, posteriormente se elaboraron las placas electrónicas y se ensamblaron los componentes.

**Palabras Claves—** Prototipo, panel solar, carro para niños, aplicación móvil, eficiencia.

## I. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de fuentes de energías renovables está incrementando a nivel mundial, esto gracias a la creciente innovación de las soluciones tecnológicas, las cuales facilitan su tratamiento al convertirlas en energía eléctrica para el consumo en diferentes ambientes [1]. Una de estas fuentes es la radiación solar, la cual mediante el uso de paneles solares, permiten la transformación de esta radiación a energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas [2]. Este aprovechamiento es utilizado en dicha investigación para permitir el ahorro de baterías en el momento de su uso.

En el desarrollo de la aplicación móvil ecoCar app se utilizó el lenguaje de modelo unificado para su diseño y fue implementada en un celular con sistema operativo Android; esta aplicación es un control remoto cuya fortaleza es permitir, a una persona que no necesariamente esté utilizando el carro para niños, guiarlo y ubicarlo.

Por otro lado después del diseño del circuito electrónico y aplicación móvil ecoCar, se procedió a construir el mismo que reunió los componentes de hardware y posibilitó la recarga y movimiento del carro; así como también se creó la aplicación móvil mediante la cual se realizó el control a distancia del carro.

Además se empleó una placa Arduino® que permitió el accionamiento del motor y envío de estados del carro. Para poder establecer la comunicación entre el dispositivo móvil y el carro se empleó un módulo Wi-Fi de manera que se envíen datos entre ambas partes y para determinar su ubicación se usó el módulo GPS.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Diseño de circuito electrónico

El prototipo está conformado por varias conexiones las cuales permiten la recarga, control de dirección y giro del mismo. Además de las relacionadas con el panel solar también está la del control Wi-Fi el cual permitirá el acceso a la conexión y el modulo GPS que servirá la ubicación del mismo. El panel solar proporcionará energía tanto para la batería del vehículo como para la placa Arduino® que contará también con los módulos Wi-Fi y GPS, así como también los circuitos de marcha/retroceso y de dirección van conectados a dicho Arduino®, todos estos componentes irán conectados a los motores que tendrá el vehículo, uno para marcha y retroceso, y un motor de paso para controlar los giros.

### B. Conexión de panel solar

El panel solar que se usará proporcionará energía tanto a la batería de 12VDC como al Arduino®, dicho elemento estará conectado a un regulador el cual controla los niveles de carga, el cual produce un voltaje máximo de 24V que puede ser regulado.

### C. Control de giro

Para el control de giro, se usará el Arduino®, un motor de paso y el integrado L293D. Este circuito permitirá el manejo del motor que tiene una potencia de 7,5 Wh, además posee una capacidad de controlar corriente hasta 600mA y una tensión entre 4.5V a 36V.

Cabe indicar que para la instalación de dicho motor de paso se tuvo que adaptar el vehículo con un engranaje para permitir el giro y movimiento de la dirección. Este motor de paso utilizará señales enviadas desde el celular y moverá la dirección de 0° hasta 45°, de acuerdo al número de pasos programados.

### D. Control de aceleración

Esta sección del proyecto consta principalmente con un juego de relés que al conmutarse entre ellos generan el giro del motor según lo deseado (RL 2 y RL 3). Por otra parte está el RL1 el cual sirve para que el circuito no pase siempre encendido sino que espere una señal del switch el cual solo al estar activado energizará dicho relé continuando así con la secuencia de encendido según la información que dispongan los otros dos relés.

### E. Diseño de la aplicación móvil ecoCar

La aplicación tiene como objetivo principal mejorar el control del carro para niños de manera que al propietario del mismo se le facilite en un determinado momento controlar el carro para hacerlo dirigir a un lugar indicado, además de poder tener facilidad de localizar el vehículo mediante coordenadas recibidas por el módulo GPS, para así mostrar su ubicación en una doble pantalla de Google Maps.

La aplicación se desarrollará empleando Scrum, un marco de trabajo que se basa en un proceso incremental e iterativo [3]. Para el diseño de la aplicación se utilizará el lenguaje unificado de modelado mediante el cual se podrá diseñarla. Para la codificación se utilizará Eclipse en conjunto con las herramientas de desarrollo de Android.

### F. Arquitectura

Mediante la aplicación el usuario puede controlar el movimiento y posición del carro para niños. Una vez que ingresa a la plataforma, esta se conecta a la red Wi-Fi del módulo Iduino que opera en conjunto a la placa Arduino®. Una vez establecida la conexión el usuario puede indicar alguna dirección para mover el carro, al realizar esto se envía la petición y la placa Arduino® activa y/o desactiva puertos para accionar el motor del carro. Basándose en el funcionamiento de cada uno de los componentes del prototipo anteriormente revisados, se puede observar en la Figura 1 la arquitectura con la que la aplicación funcionará al ejecutarse en el smartphone.



Figura 1. Arquitectura de la aplicación.

Fuente: (Elaboración propia)

## III. RESULTADOS

### A. Pruebas de funcionamiento del prototipo

Para realizar las pruebas de funcionamiento se ensamblaron todos los componentes, se efectuaron las respectivas instalaciones y configuraciones tanto en el carro como en los smartphones. En los posteriores apartados se detallan las pruebas realizadas con sus respectivos resultados.

### B. Pruebas del carro para niño

El tiempo de uso del carro para niños depende directamente del tiempo que dure la batería en proporcionar los valores de voltaje y corrientes necesarios para que el motor que posee el carro funcione. Estos valores son de 5VDC y 1.7 A. Al contar con el panel solar este sumple constantemente estos valores lo que no ocurre al prescindir de este componente. También se consideraron dos modos de funcionamiento del carro: manual y automático. En el modo de funcionamiento manual el carro está funcionando con el sistema eléctrico por defecto y el modo de funcionamiento automático el carro funciona con el sistema electrónico y controlado desde la aplicación.

Para ambos modos de funcionamiento, manual y automático, se obtuvieron resultados similares, sin embargo el uso del panel solar afecta los dos estados: empleando el panel y sin el uso del mismo. Al no contar con el panel solar el carro no se puede utilizar mientras se está recargando, ni tampoco se recarga la batería. En la Tabla 1. se pueden observar los resultados generales de las pruebas de tiempo de recarga.

Estado	Tiempo de recarga
Empleando el panel solar modo manual y automático	Proporcional a la Descarga
Sin usar panel solar modo manual y automático	1 hora y 30 minutos

Tabla 1. Resultados generales obtenidos en ambos modos de funcionamiento

Fuente: Elaboración Propia

Para todos estos estados el panel solar al ser afectado por la radiación solar generaba 24 VDC y 2.4A en un día parcialmente despejado en el que los rayos del sol inciden directamente al panel solar, estos valores son posteriormente convertidos para recargar apropiadamente la batería.

Al prescindir del panel solar no existe tiempo de recarga, sino que pasa a ser un tiempo de descarga, esto se debe a que cuando se está usando el carro no se recarga a diferencia de las pruebas anteriores.

Se obtuvieron como resultados que al estar en movimiento el carro con un niño manejándolo el tiempo de descarga es de 30 minutos. Cuando el carro está en movimiento pero no hay un niño manejándolo el tiempo de descarga es de 45 minutos. Finalmente la batería se descarga muy poco al no estar el carro en movimiento. Los resultados de esta prueba se resumen en la Tabla 2.

Estado	Tiempo de descarga
En movimiento con el niño	30 minutos
En movimiento sin el niño	45 minutos
Sin movimiento	Descarga muy poco

Tabla 2 Resultados obtenidos en el modo de funcionamiento manual sin usar el panel solar

Fuente: Elaboración Propia

## IV. CONCLUSIONES

Realizada la implementación y pruebas del prototipo de vehículo eléctrico con eficiencia en el consumo de energía se puede concluir lo siguiente:

La elaboración de un prototipo de carro que emplea una fuente de energía renovable ha permitido reducir el tiempo de recarga al incorporar un panel solar, el cual evita gastos en consumo de electricidad.

La recarga de la batería empleando el sistema diseñado demostró que es una solución efectiva para ampliar el tiempo en que el niño puede usar el carro puesto que se está recargando constantemente mientras se lo está usando. También se evitó el uso del cargador de pared lo cual contribuyó a evitar su empleo.

La implementación del prototipo permite el aprovechamiento de una energía renovable como es la radiación solar de manera que los usuarios incrementen el periodo de uso del carro, brindando la oportunidad de que padre e hijo puedan utilizarlo a la par.

Durante las pruebas de la aplicación en conjunto con el carro, el usuario pudo controlar el movimiento y ubicación del carro para niños así como también mejorar su uso, de manera que el usuario pudo guiar mejor al infante durante su manejo.

Las pruebas de los circuitos en conjunto con la aplicación fueron satisfactorias. Ambas plataformas pudieron utilizarse e integrarse correctamente para recibir y ejecutar las instrucciones deseadas.

El prototipo desarrollado es escalable y permite la adición de funcionalidades, proporcionando un mejor uso y control puesto que los componentes como el Arduino® y la aplicación móvil brindan la flexibilidad para ello.

#### REFERENCIAS

- [1] Castellano, R. (2010). Solar Panel Processing. París: Archives contemporaines.
- [2] Boxwell, M. (2012). Solar Electricity Handbook. Greenstream Publishing.
- [3] [Schwaber, K., & Beedle, M. (2002). Agile Software Development with Scrum. Prentice Hall.
- [4] ISO. (s.f.). ISO 9241-11. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals. 1998.
- [5] Gopi, S. (2005). Global Positioning System: Principles And Applications. New Delhi: McGraw-Hill.
- [6] Langarica, D. (13 de Octubre de 2010). Control de un Motor Brushless para Aplicación a Vehículos Eléctricos. Recuperado de CENIDET: [http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis\\_mc/243MC\\_dlc.pdf](http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/243MC_dlc.pdf)
- [7] Lee, W.-M. (2012). Beginning Android 4 Application Development. John Wiley & Sons.
- [8] Letham, L. (2001). GPS fácil. Uso del sistema de posicionamiento global. Barcelona: Paidotribo.
- [9] Margolis, M. (2011). Arduino Cookbook. Sebastopol, CA. O'Reilly Media.
- [10] McRoberts, M. (2013). Beginning Arduino. Sebastopol, CA. Apress.

# Entornos Virtuales de Aprendizaje para el desarrollo del aprendizaje autónomo y autorregulado.

## Del consumo de información a la producción de contenidos digitales.

José Luis Carrasco-Sáez  
 Facultad de Educación  
 U. Católica Ssma. Concepción  
 Concepción, Chile.  
[jcarrasco@doctoradoedu.ucsc.cl](mailto:jcarrasco@doctoradoedu.ucsc.cl)

Marcelo Careaga Butter  
 Facultad de Educación  
 Investigador Asociado CIEDE  
 U. Católica Ssma. Concepción  
 Concepción, Chile.  
[mcareaga@ucsc.cl](mailto:mcareaga@ucsc.cl)

Lilian Hernández Montes  
 Facultad de Educación  
 U. Católica Ssma. Concepción  
 Concepción, Chile.  
[lherandez@doctoradoedu.ucsc.cl](mailto:lherandez@doctoradoedu.ucsc.cl)

**Resumen-** Este artículo describe una experiencia relacionada con las nuevas formas de enseñar y de aprender, contextualizadas en la transición cultural que se vincula con la Sociedad del Conocimiento y la globalización. En esta investigación, para ensayar estas nuevas formas de aprendizaje, se utilizaron entornos virtuales que contribuyeron al desarrollo del aprendizaje autónomo y autorregulado. La muestra estuvo conformada por 20 estudiantes de Primer Año de la carrera de Técnico de Nivel Superior en Diseño y Programación Multimedia, del Centro de Formación Técnica Lota Arauco, de la Universidad de Concepción, Chile. La experiencia fue medida mediante una evaluación basada en estándares de competencias, los que se definieron según matrices de valoración y se aplicaron varios tipos de evaluación con TIC. Esta experiencia facilitó que el aprendizaje teórico, fuese evaluado a través de la creación de contenidos digitales por parte de los propios estudiantes, respondiendo a un paradigma cuya racionalidad consiste en “aprender de manera autónoma y autorregulados mediados por TIC”.

**Palabras clave:** Aprendizaje Autorregulado, entornos virtuales de aprendizaje, competencias TIC, modelos de evaluación con TIC, transición cultural.

### I. INTRODUCCIÓN

Estamos experimentando una transición cultural que nos conduce hacia la postmodernidad, hacia la sociedad de la información, la cultura cibernetica, la sociedad líquida, la sociedad del conocimiento o como se busca denominar el proceso de cambio cultural global. Precisamente dicha indefinición conceptual, acerca del cambio cultural, es una manifestación de la necesidad de caracterizar los elementos propios de esta transición. En este escenario ha nacido un nuevo individuo *hiperconectado*, el que se ve enfrentado a un conflicto epistemológico, pues se mueve entre la realidad objetiva de las cosas y las ideas y la irrupción del ciberespacio como realidad virtual, adquiriendo una bidimensionalidad en su identidad cultural. Se configura un acceso, cada vez más masivo, a un conocimiento *formal e informal*, que potencialmente permite aprender desde la red y en red. Se necesita repensar la educación,

para abordar nuevos paradigmas de formación humana, considerando nuevas formas de enseñar y de aprender.

Diversos organismos internacionales como, por ejemplo, la UNESCO [1] se han preocupado de esta situación. Han planteado que uno de los desafíos más importantes en la educación del siglo XXI para los individuos hiperconectados, corresponde a la necesidad de desarrollar la capacidad de aprender a aprender desde los más tempranos niveles educativos. Estas nuevas dimensiones formativas serían parte del reconocimiento de una nueva esencia de un individuo hiperconectado y cibernetizado. Se trata de formar sujetos capaces de intervenir activamente sobre fuentes de información, generar nuevos constructos intelectuales y prácticos y hacerlos transferibles hacia el aprendizaje de otros. El aprendizaje hiperconectado no es sólo individual, es intrínsecamente colectivo y colaborativo al estar mediado por tecnologías de información y comunicación.

¿Es posible transitar desde ambientes de aprendizaje presenciales, basados principalmente en una noción de aula asociada a la función tradicional de la escuela y al rol del profesor, hacia ambientes de aprendizaje más flexibles y distribuidos, centrados en un nuevo perfil del estudiante hiperconectado, que lo haga diferenciarse de manera notable de las generaciones que le precedieron?

La interrogante anterior, es abordada y se intenta contestar a través este trabajo, por medio de la aplicación de un modelo de innovación en evaluación con uso de TIC. En dicha innovación se promueve entre los estudiantes la creación y transferencia colaborativa de conocimiento, a través de productos que les permiten organizar los contenidos teóricos de la unidad de Fundamentos de Redes de Computadores, utilizando herramientas de la Web 2.0. Como señala [2] saber cómo y saber qué están siendo complementados con saber dónde, refiriéndose a la comprensión de dónde encontrar el conocimiento adquirido o requerido.

Una de las propuestas teórico-prácticas, concebidas para el rediseño de espacios de aprendizaje, son los *Entornos Virtuales de Aprendizaje* (EVA). Estos ambientes desarrollan el concepto aplicado de un entorno de aprendizaje centrado en el alumno como evolución de los entornos presenciales de enseñanza-aprendizaje centrados en una institución educativa situada. Un entorno que pudiera recoger y centralizar recursos de diversas instituciones. Adelle y Castañeda [3], señalan que todas las

personas tienen un entorno personal en el que aprenden, que es inherente al hecho mismo de que las personas aprenden a lo largo de toda su vida y en todo momento.

Por otra parte, el aprendizaje autorregulado, está íntimamente vinculado con el aprendizaje autónomo. Zimmerman y otros [4] argumentan que es un constructo complejo; y a pesar de que son varios los modelos teóricos que lo estudian (Teoría Volitiva [5], Teoría de la Información [6]), ninguno de ellos puede explicarlo completamente, debido a que lo abordan desde diferentes miradas que coinciden en defender que el estudiante mediante diversos procesos puede regular su cognición, motivación y comportamiento, para alcanzar las metas planteadas y mejorar su rendimiento académico.

## II. METODOLOGÍA

La investigación fue de carácter exploratoria y descriptiva con un diseño no experimental, utilizando un enfoque metodológico cualitativo. Los estudiantes de esta unidad presentan edades entre los 18 a 22 años, y en su gran mayoría, son egresados de Liceos municipales de las comunas de Lota y Coronel, ambas comunas de la Octava región de Chile. Los participantes utilizan las redes sociales y se consideran consumidores de información, más que productores.

El rol del docente fue el de mediador, utilizando el concepto de la coasociación. En la pedagogía de la coasociación, propuesta por [7], en su libro “Enseñar a Nativos Digitales”, usar la tecnología es tarea de los alumnos. El trabajo del profesor consiste en actuar como orientador y guía del uso de la tecnología para el aprendizaje efectivo. Para hacer esto, los profesores necesitan centrarse y volverse incluso más expertos en cosas que ya forman parte de su trabajo, incluido hacer buenas preguntas, proporcionar contexto, garantizar el rigor y evaluar la calidad del trabajo de los alumnos.

Los referentes teóricos que dieron sustento a esta investigación se relacionan al Socio Constructivismo de [8], a la Teoría de Aprendizaje por Descubrimiento de [9], al Aprendizaje Significativo de [10], al conectivismo de [2] y a la pedagogía de la coasociación de [7].

Los instrumentos de recolección de datos fueron 8 matrices de valoración en relación a: el trabajo grupal, el trabajo colaborativo del grupo curso, autoevaluación, elaboración de un mapa conceptual, de un video tutorial, de una Wiki, de un documento escrito y glosario de términos, y de una presentación oral. La propuesta se desarrolló en el Módulo Redes de computadores, correspondiente al primer semestre, del primer año de la carrera de Técnico de Nivel Superior (TNS) en Programación Multimedia (desarrollada bajo un currículo basado en el desarrollo de competencias) del Centro de Formación Técnica Lota Arauco, perteneciente a la Corporación Universidad de Concepción, (Nivel de Educación Superior).

La propuesta metodológica junto con el uso de herramientas de las Web 2.0 como Delicious, Scoopit, Google Drive, Googlegroups, Cmaptools, NetVibes, Googledocs, Youtube, Wikispaces, Twitter, Skype, Facebook, Scribd y Prezi, potenciarán las habilidades de pensamiento superior en los alumnos, pasando de actividades ligadas a recordar, hasta la creación de artefactos digitales.

El modelo de evaluación con TIC que se propone, incluirá, entre otros aspectos, un proceso de evaluación auténtica, ya que intenta averiguar qué hace el estudiante o qué es capaz de hacer, utilizando diversas estrategias o procedimientos evaluativos [11]. La evaluación con TIC, será abordada desde el punto de vista enciclopédico y colaborativo, según la definición propuesta por [12], y desde el punto de vista autoevaluativo, coevaluativo y heteroevaluativo, según los tipos de evaluación con TIC para evaluar los aprendizajes virtuales, propuestos por [13].

La evidencia de que los alumnos trabajaron en la construcción de nuevo conocimiento, a partir de su recopilación teórica, utilizando las TIC como herramienta, se reflejó en un Ple-Portfolio, que contiene los productos finales que presentan los estudiantes.

## III. RESULTADOS

Esta experiencia permitió experimentar un modelo metodológico y de evaluación con TIC que facilita el aprendizaje teórico, usando como estrategia la integración curricular de las TIC en el aula, desde el “paradigma” aprender con las TIC, v/s aprender las TIC.

Se diseñaron instrumentos de recolección de datos que permitieron objetivizar el trabajo que los alumnos hacían con y sin las TIC. Los instrumentos de recolección de datos fueron 8 matrices de valoración en relación a: el trabajo grupal, el trabajo colaborativo del grupo curso, autoevaluación, elaboración de un mapa conceptual, de un video tutorial, de una Wiki, de un documento escrito y glosario de términos, y de una presentación oral. Los alumnos construyeron los siguientes artefactos digitales: 1Plataforma Scoopit de cada grupo, 2. Mapa Conceptual de la unidad online, 3. Wiki de la unidad online, 4.Video tutorial de la unidad alojado en Youtube, 5. Documento final y glosario de términos, publicados en Scribd.

## III. CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso una experiencia para potenciar el aprendizaje autorregulado y autónomo mediante el desarrollo de diferentes productos digitales, para evaluar uno de los aspectos quizás algo olvidados, en un currículo basado en el desarrollo de competencias: el saber qué se evalúa cuando se aplican evaluaciones nemotécnicas y de repetición de contenidos.

Por lo tanto, era un desafío ver como incorporar y evaluar con TIC, evitando como dice [12] que la evaluación con TIC no se trate de una mera copia de la evaluación que se realiza en las aulas presenciales. Se optó por utilizar modelos de evaluación con TIC desde el punto de vista enciclopédico y colaborativo, puesto que los alumnos debían generar productos validados por ellos a partir de la recopilación del material teórico de la unidad fundamentos de redes. Esto refuerza lo dicho por [13]: Los estudiantes aprenden creando artefactos culturales en lenguajes diversos (escrito, visual, Web, etc.)

## REFERENCIAS

- [1]UNESCO, Replantear la educación, ¿hacia un bien común mundial?, 2015.
- [2] G. Siemens, Conociendo el conocimiento. Translate to Spanish. Retrieved from <http://www.nodosele.com/editorial>, 2006.
- [3] J. Adell y L. Castañeda, Los entornos personales de aprendizaje (PLEs). Una nueva manera de entender el aprendizaje. En R. Roig, y M. Fiorucci. (Eds). Claves para la investigación en innovación y calidad educativas. La integración de las TIC y la interculturalidad en las aulas. Alcoy: Marfil, 2013.
- [4] B. Zimmerman, D. Schunk y A. Bandura: The scholar and his contributions to educational psychology. En B. J. Zimmerman y D. H. Schunk (Eds.), Educational psychology: A century of contributions (pp. 431-457). Mahwah, NJ: Erlbaum, 2003.
- [5] L. Corno, Volitional aspects of self-regulated learning. En B. J. Zimmerman y D. H. Schunk (Eds.), Self-regulated learning and academic achievement(segunda ed., pp. 191-226). New York: Lawrence Erlbaum Associates, 2001.
- [6] C. Shannon & W. Weaver, A Mathematical Theory of Communication, 1948.

- [7] M. Prensky, "Enseñar a nativos digitales". Biblioteca innovación educativa, 2011.
- [8] L. Vigotsky, El desarrollo de los procesos psicológicos superiores. Barcelona: Grijalbo, 1979.
- [9] J. Bruner, Toward a theory of instruction: Cambridge Mass: Harvard University Press, 1966.
- [10] D. Ausubel, J. Novak y H. Hanesian, Educational psychology: A cognitive view. 2nd edition. New York: Holt Rinehart, and Winston, 1978.
- .
- [11] P. Ahumada., Hacia una evaluación auténtica del aprendizaje. México: Editorial Paidós, 2005.
- [12] E. Barberà, "Aportaciones de la tecnología a la e-Evaluación RED". Revista de Educación a Distancia, en <http://www.um.es/ead/red/M6>, 2006.
- [13] R. Abarca,. Propuesta para evaluar aprendizajes virtuales, 2009.

# Work in Progress: Personal Response System Implemented by Using Open Software and Open Hardware

Mónica Flores\*, Víctor Arce<sup>†</sup>, Jorge Gonzalez\* and Douglas Plaza<sup>‡</sup>, Member, IEEE

\*Universidad Espíritu Santo, Uees, Facultad de Sistemas, Telecomunicaciones y Electrónica,  
Campus Samborondón, Km 2.5 vía La Puntilla, Samborondón, Ecuador

<sup>†</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniera en Electricidad y Computación,  
Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador  
Email: {\*mfloresm,jgonzalez}@uees.edu.ec, {†varce,douplaza}@espol.edu.ec

**Abstract**—The present paper reports the design and implementation of a Personal Response System (PRS). PRS encompasses two main subsystems: the Student Response Device (SRD), which is an electronic device (hardware), and the informatics platform for data processing and visualization (software). The details around the open technology and the technical issues encountered during the development of the PRS are presented. The integrated system (PRS) was tested showing appropriate performance with a promising future to be used as a daily tool in classrooms. The technology employed in this work allows for the scaling of the systems either in number of devices or the integration of a considerable number of devices in a stable Wi-Fi network. Additionally, the open architecture of the PRS assure to have a cost effective device affordable for most of the education institutions.

**Index Terms**—Clicker, student response system, classroom engagement, embedded systems, open hardware.

## I. INTRODUCTION

Nowadays, the importance of a positive impact of education on the societies is crucial, mainly in emerging economies [1]. Emerging economies do need highly specialized professionals to develop knowledge-based economies. In this sense, all the actions taken by governmental organizations or independent organizations are valuable. The scholar desertion can be considered as one of the important issues in education [2], [3], [4], [5]. Thus, the teaching-learning methods must be reinvented in order to engage new students in the education system with students who are considered as 'digital natives' due to the natural skills related to the use of technological devices such as ultrabooks, smartphones and tablets [6].

Universidad Espíritu Santo (UEES), which is located in Guayaquil-Ecuador, is taking action on the improvement of teaching-learning methods by adopting own-developed technology [7]. Uees is currently supporting a research Project referenced to as 'Optimization of the Teaching-Learning Process Based on the Internet of Things in the Ecuadorian Education Institutions' in which the institution is seeking for the development of a student response system and further to utilize these devices in an interactive online student-teacher environment. The Open Software movement and later the

Open Hardware movement allows for the development of in-house technologies based on rapid prototyping platforms [8]. Arduino is one of the most relevant success of open hardware and it has been adopted as the mainframe in the development of an in-house SRS. Open Software has allowed the implementation of different platforms to support educators in the form of obtaining realistic and continuous feedback from students. Different platforms were test in order to properly synchronize Students Response Devices with the software platform. The software used in this paper is the free software Google Dashboard. This software allows for selection of templates to visualize data such as pie or bar diagrams, also to perform some analytics of the data.

The paper is organized as follows: first, a brief explanation of the overall personal response system is given. Then, the hardware elements used in the implementation of the SRD are presented along with some technical issues which could be solved during the development. The software related to the development of the database and the analytics of the data is presented separately. Finally, the results of the test of the overall personal response system are presented with some recommendation and conclusions.

## II. SYSTEM ARCHITECTURE

The systems design is based on free software and hardware, which allows them to deploy a flexible structure open to changes, updates and upgrades in any of their stages, and significant savings on the implementation.

The user interacts directly with the hardware, while the software connection is made through a Wi-Fi network, thus having a modulus of easy transport and use, while from a single server can be accessed to data collected and its corresponding interface display.

The management of information is made by databases hosted in modules and in the main server, which allows data verification even before connection failures. Figure 1 shows the architecture of the system.

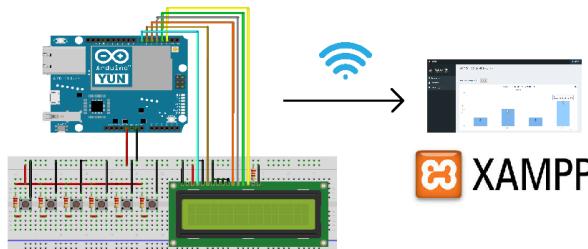


Fig. 1. System Architecture

### III. HARDWARE IMPLEMENTATION

For this system, the open-source prototyping platform Arduino was selected, more specifically the Arduino Mega 2560. It was chosen based on its flexibility, memory, ease of programming and connection with other elements, Arduino allows sending and receiving data bidirectionally, either with the sensors or the actuators.

To make the wireless communication, a shield Yun was selected, the shield is a hardware extension compatible with Arduino architecture. The selection was due to its versatility in network connection, as well as hosting an operating system based on Linux, which enables remote access and local databases in each module.

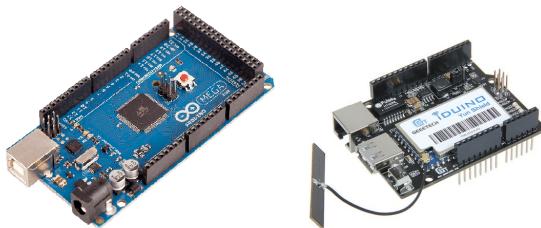


Fig. 2. Arduino MEGA 2560 and Shield Iduino YUN

For the module implementation was used an Arduino Mega 2560, an Iduino Yun Shield, figure 2 shows the Arduino MEGA and Iduino Yun, an 830 tie-points Breadboard, five buttons, five 1K Ohm resistors, one 330 Ohm resistor, one 16x2 LCD display, and jumper cables for Arduino.

After checking the performance with the first prototype, it was proceeded to the development of a printed circuit board (PCB), to facilitate the transportation and handling of the user, the same that was designed based on additional elements connected to the Arduino, adding female header sockets for the connection to the Arduino through jumper cables.

With the second prototype, it was achieved better stability of the display and reducing the false positives in the buttons, as shown in Figure 4, the interface allows the visualization of the questions and answers, likewise the option to answer with the corresponding buttons.

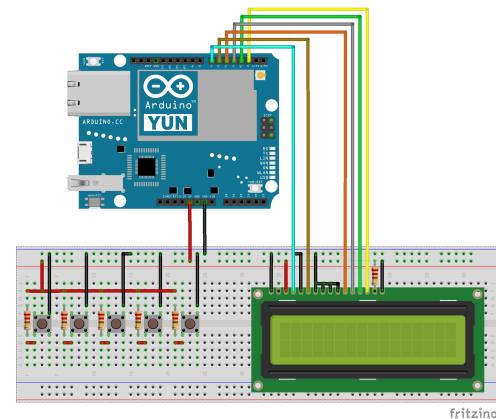


Fig. 3. First prototype of the SRD. Image using Fritzing



Fig. 4. Second Prototype of the Student Response Device

### IV. SOFTWARE IMPLEMENTATION

Software development is divided in two stages, the first corresponds to the webpage and data management, administrated on a local server and mounted on the XAMPP applications. The second stage corresponds to Arduinos programming and configuration with the operating system Linux of the Yun Shield.

#### A. Webpage.

The design is based on PHP, which is a server-side programming language, that allows the development of websites with dynamic content. In the case of our system that generates a graphical interface to display the results in the corresponding modules, it was chosen as the basis of free distribution dashboard applications in order to obtain a clean interface, easy to use and with dynamic update.

#### B. Database.

Data management was conducted with MySQL as an administrator. The logical structure of the databases was designed as an expandable form, as shown in Figure 5.

#### C. Arduino Programming

Arduino Mega configuration was made with ARDUINO IDE, which is based on C/C++ language. Programming includes the display manager LCD, to display the questions and the answer options, and the keyboard to answer them.

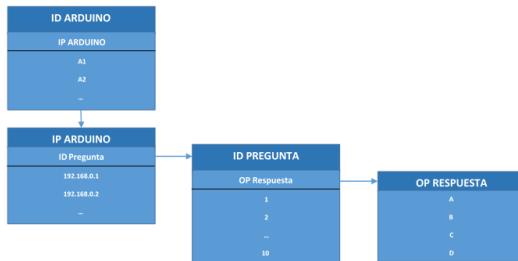


Fig. 5. Database structure

#### D. Shield YUN Configuration

The configuration takes place in two stages. First, the Linux system configuration to establish administrator permissions, in order to keep the answers in the local database of the module. Second, the Wi-Fi network configuration of the module, to connect to the main server managed by XAMPP. The software usually has three levels of users, which are described below.

#### E. Guest

Any user who makes use of the module to answer the questions using the keyboard.

#### F. Pollster

A person who selects and loads the questions that the guest should answer, the pollster can also display the results on the webpage.

#### G. Administrator

Users that are allowed to make changes on a logical level of configuration and programming in each of the stages of the system.

## V. SYSTEM INTEGRATION

The software and hardware integration, aims to facilitate the use of both, taking data management on a large scale, a friendly interface, a physical module of easy handling and transport. Next, the complete physical module and web interface are presented.

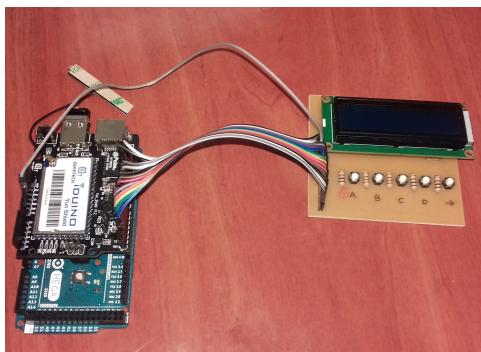


Fig. 6. Questions and Answers Display Module

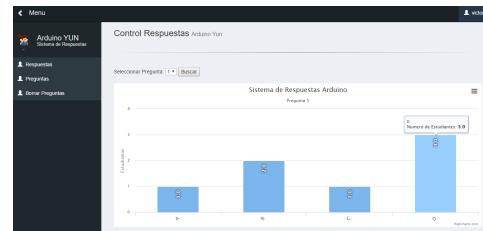


Fig. 7. Web Interface

Finally, it is showed that through the web application, it can be displayed bar charts with the amount of answers per option, and it can be downloaded as an exportable file for further analysis.

Moreover, the integrated system is fully scalable, which means that supports from only one module answers, to the fullest extent permitted by the Wi-Fi network. In a classroom of 25 to 40 people with a dedicated router, the system would have the same efficiency as if it were a single module.

It is noteworthy that the module power supply should be enough to allow the Arduino operates and to maintain a constant Wi-Fi connection. Otherwise, as long as the Arduino keeps on and the Wi-Fi connection is lost, the data will remain in the external memory of the system and it can be accessed by the administrator, preventing any data lost by power failure or a blackout.

## VI. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

A personal response system has been implemented in this paper by using open technology at a very effective cost. Although, there is not a commercial goal involved in this development, the preliminary version of the personal response system will be tested and used intensively in order to collect data from students.

## ACKNOWLEDGMENT

The results presented in this paper correspond to an initial part of the project 'Optimization of the Teaching-Learning Process Based on the Internet of Things in the Ecuadorian Education Institutions' with code 2015SIS010. The authors would like to thank UEES for allowing the participation of external researchers in this project.

## REFERENCES

- [1] I. A. Zualkerman, "Design and implementation of a low-cost classroom response system for a future classroom in the developing world," *Interaction Design and Architecture(s) Journal*, pp. 68–84, 2012.
- [2] A. S. Putra, N. J. Jie, and T. K. Kiong, "Enhancing student involvement in a class using real-time response system," in *Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2012 International Conference on*, June 2012, pp. 1–4.
- [3] D. Rajavel and R. Kushalkar, "Clicker: Device independent student response system, developed for classroom and remote learning to provide instant response and feedback," in *Technology for Education (T4E), 2014 IEEE Sixth International Conference on*, Dec 2014, pp. 62–65.
- [4] J. A. Rossiter, "Using clickers in lectures to help identify and teach the control topics students find difficult," in *Control (CONTROL), 2014 UKACC International Conference on*, July 2014, pp. 543–548.

- [5] K. M. Vernaza, "Using personal response system technology and concept check modules to improve students learning experience: A case study," in *2007 37th Annual Frontiers In Education Conference - Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports*, Oct 2007, pp. F1D-16–F1D-17.
- [6] D. Amemado, "Integrating technologies in higher education: the issue of recommended educational features still making headline news," *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*, vol. 29, no. 1, pp. 15–30, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/02680513.2014.908700>
- [7] V. B. H., "El aprendizaje basado en problema (abp) como estrategia didáctica para la enseanza del solfeo en el nivel superior," *El Artista*, vol. 12, pp. 36–53, 2015.
- [8] A. Powell, "Democratizing production through open source knowledge: From open software to open hardware," 2012.

# Revisión Sistemática de herramientas para la implementación de streaming en la Radio Universitaria basado en software libre

Jonathan Ezequiel Neira Balcázar  
 Universidad Nacional de Loja  
 Loja, Ecuador  
 jeneirab@unl.edu.ec

Ing. Mario Enrique Cueva Hurtado Mg. Sc.  
 Universidad Nacional de Loja  
 Loja, Ecuador  
 mecueva@unl.edu.ec

**Resumen**— La radio en Internet proporciona un servicio con varias ventajas como, la cobertura mundial y trasmisión desde cualquier lugar. Fomenta la cultura, la difusión del conocimiento y la misión en las universidades a costos bajos en comparación con la radio convencional. El siguiente artículo es el resultado de una revisión sistemática de literatura, sobre la tecnología actual en software libre que existe para implementar una radio online en un ambiente universitario, con el fin de identificar, seleccionar y determinar cuáles son las herramientas necesarias para implementar el streaming en una Universidad. Para ello se realizó un análisis de criterios de 58 estudios publicados en bibliotecas digitales (ACM, IEEE, Springer, ScienceDirect, Scielo), revistas de artículos de investigaciones científicas y/o académicas (Unilatina, SEDICI, ESAICA) y el buscador de Google Académico, concluyendo que es apropiado utilizar un servidor Icecast, un DSP Butt con un códec MP3 y un ancho de banda mínimo de 256 kbps.

**Palabras Clave**— radio online; servidor streaming; tecnología streaming; adaptive RTP; códices de audio.

## I. INTRODUCCIÓN

El surgimiento de la radio en internet ha permitido un cambio significativo en el modo de transmisión del medio radial y ha propiciado el surgimiento de emisoras que emiten netamente por Internet. [1]

Una radio en Internet dentro de una universidad permite amplias posibilidades de intercambio de información no solo dando a conocer acontecimientos pertenecientes a la institución, sino además generar un ambiente de colaboración donde se puedan compartir contenidos para fomentar la parte cultural y educativa cumpliendo un rol fundamental en la difusión del conocimiento y de esta manera tener una relación continua con la colectividad en general.

El desarrollo de este artículo, está dado en secciones: en la Sección 1 a modo de introducción la importancia de tecnología streaming. Sección 2 los antecedentes con información relevante que describa a la radio en Internet específicamente en Ecuador, en la Sección 3 la planificación de la revisión sistemática de literatura, objetivo, pregunta de investigación, métodos de revisión y cadenas de búsqueda, origen y año de los estudios incluidos y excluidos. Para finalmente, en las últimas Secciones mostrar los resultados, hallazgos y conclusiones del artículo.

## II. ANTECEDENTES

Durante los últimos diez años, la tecnología de audio de codificación ha hecho enormes progresos. Por ello muchas estaciones

de radio están en una fase de transición al entrar la radio en la era digital DAB (Digital Audio Broadcasting). Con más de 5.000 estaciones de radio en el mundo, de alguna manera conectados a la World Wide Web, donde hay una creciente necesidad de información acerca de cómo la Internet y la radio pueden interactuar positivamente.[5], [6]

Las radios universitarias cumplen un rol fundamental en la difusión del conocimiento, cultura y en la misión de educación de las universidades. Además, cumplen la doble función de vincular a los miembros de las comunidades universitarias entre sí y la población, con lo que se mueven en el espacio de lo institucional y de lo masivo.

La primera radio universitaria de Latinoamérica inicia sus trasmisiones en noviembre de 1923 en la Universidad de la Plata, convirtiéndose en la primera radio oficial universitaria del mundo. De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas para la Educación (UNESCO), existen actualmente ya entre 120 y 130 emisoras universitarias en América Latina. [7]

### 1) Radio en Internet

El término “Radio en Internet” describe la conglomeración de streaming de audio que se encuentra disponible en el Internet que puede ser escuchado mediante un software reproductor o navegador que soporte streaming de audio. Una estación de radio en la red se puede acceder desde cualquier ordenador con acceso a Internet. Esta amplia capacidad de cobertura de emisión de radio por Internet es muy atractiva para los organismos de radiodifusión. [8]–[10]

### 2) Radios Universitarias en el Ecuador

La Universidad Central del Ecuador fue la pionera en desarrollar un proyecto radial, fue presentado en 1973 y logró salir al aire por primera vez en marzo de 2011. La Universidad Católica Santiago de Guayaquil tuvo también una frecuencia desde marzo del 2011 hasta febrero del 2014. [7]

La Red de Radios Universitarias del Ecuador (RRUE) la conforman 11 radios de diferentes universidades del país: Universidad de los Hemisferios, Universidad Católica de Cuenca, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Universidad de Cuenca, Universidad San Francisco, Universidad Central del Ecuador, Universidad Tecnológica Equinoccial y la Universidad del Azuay. Donde la Universidad Central del Ecuador tiene radio con frecuencia en el espectro radioeléctrico, las demás radios funcionan por Internet. [7]

La RRUE desde el mes de enero del 2014 forma parte de la Red de Radios Universitarias Latinoamericanas y del Caribe RRULAC, la misma que cuenta con aproximadamente 150 radios universitarias alineadas a la red, el objetivo de la misma es dar la posibilidad de intercambio entre profesionales, docentes, alumnos y radialistas, los mismos que deben fomentar la creación de nuevas emisoras universitarias y generar una plataforma común donde se puedan compartir contenidos. [7]

### III. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

#### 1) Objetivo de la Revisión

Identificar, seleccionar y determinar cuáles son las herramientas necesarias para implementar el streaming en ambientes Universitarios.

#### 2) Métodos de Revisión

##### A. Fuentes y estrategias de búsquedas

###### a. Fuentes:

- ACM Library: <http://dl.acm.org/>
- IEEE: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- Springer: <http://www.springer.com/la>
- Science Direct: <http://www.sciencedirect.com/>
- Scielo: <http://www.scielo.org/php/index.php?lang=es>
- Unilatina: <http://www.unilatina.edu.co/revista/index.php/edicion/es/edicion-1>
- SEDICI: <http://sedici.unlp.edu.ar/>
- ESAICA: <http://revistas.udes.edu.co/site/index.php/esaica>
- Google Académico: <https://scholar.google.com.ec/>

###### b. Estrategias de Busqueda

A partir de la pregunta de investigación, se definieron palabras claves para las búsquedas: radio online, servidor streaming, tecnología streaming, adaptive RTP, códigos de audio.

Con estas palabras clave, se realizaron diversas combinaciones, usando operadores lógicos “OR” para los conceptos similares y “AND” para los conceptos complementarios:

Búsqueda en el resumen (abstract) del artículo, título del artículo, cuando el número de resultados es superior a 1; Considerar publicaciones desde el 2000 en adelante; Las búsquedas realizadas serán identificadas con un código correlativo B1, B2 hasta B10.

##### B. Búsquedas

Las búsquedas realizadas fueron las siguientes:

Biblioteca digital de la IEEE:

B1: (((("Document Title":audio) OR "Document Title":quality) AND "Document Title":internet) AND "Document Title":radio)

B2: (((developing e-radio) AND online) AND streaming) AND audio) OR application)

B3: (((adaptive RTP) AND compatible) AND audio) AND streaming) AND clients)

Biblioteca digital ACM:

B4: content.ftsec:(+self-similarity +streamed +music +mobile)

Biblioteca digital SCience Direct:

B5: TITLE-ABSTR-KEY(customized internet) and TITLE-ABSTR-KEY(radio)

Biblioteca digital Scielo:

B6: (streaming media) AND (media files)

Biblioteca digital Springer:

B7: (issues) OR (radio) AND (internet)

Revista digital ESAICA:

B8: (tecnología streaming) OR (radio digital)

Revista digital SEDICI:

B9: (radio Internet) OR (radio in web)

Google Académico:

B10: análisis de codecs de audio MP3 "codec" OR códec mp3 OR códec Ogg

### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

#### A. Principales Hallazgos

A continuación, se presentan los principales hallazgos dentro de la Revisión Sistemática.

En los trabajos [S2], [S4], [S5], [S6], [S7], [S8], [S9], [S10], [S11] y [S12] presentan los servidores streaming: ShoutCast, Darwing Streaming Server (DSS), Icecast, Helix Universal Server, VLCKern, Windows Media Services, utilizados para implementar un servicio de radio en Internet, además de permitir con el servidor adecuado la posibilidad de él envío de archivos multimedia desde una base de datos.

Los trabajos [S1], [S2], [S5], [S6], [S7], [S8], [S9], [S10], [S13], [S14], [S15] y [S16] muestran los códec que se pueden utilizar para streaming de audio como son: MP3, Windows Media, aacPlus, Ogg Vorbis, RM, RMVB, MPEG-4, MPEG dependiendo de los mismos de la compatibilidad con los servidores, reproductores, navegadores y dispositivos móviles, además caracterizan al códec MP3 por soportar tasas de bits desde los 8 kbps hasta los 320 kbps, con una alta velocidad de codificación, consigue mayor compresión, permite tres tipos de tasa de bits CBR, VBR y ABR, MP3 cuenta con licencia LGPL, de la misma manera caracterizan al códec Ogg por soportar tasas de bits desde los 32 kbps hasta los 500 kbps, soportando tasas de bits CBR y VBR desde los 16 a 128 kbps.

En los trabajos [S2], [S8], [S9] y [S10] exhiben las características de hardware mínimas que deben de tener en una implementación de radio en Internet las mismas que son: Utilizar una RAM 348Mb, la velocidad de procesador 1,2 GHz; Utilizar Procesador Pentium 4 de 2,4 GHz, RAM de 512Mb, 100Mb de espacio en disco duro; Utilizar CPU Intel Celeron D de 2,5 GHz, RAM de 512Mb, HDD ATA 7200 RPM.

El trabajo [S1] y [S2] presenta el bitrate mínimo que se necesita para la transmisión de audio mediante Internet: Los bitrates de audio no deben ser menores de 64 kbps para una buena calidad; La velocidad de los bits debe ser 80 kbps para un máximo de 50 clientes a la vez.

El trabajo [S12] especifica que el ancho de mínimo sea de 256 kbps para la transferencia entre el cliente y el servidor.

Los trabajos [S9], [S10] y [S11] especifican la plataforma para implementar un streaming, la cual puede ser: Plataforma Linux 6.0 con sistema operativo Laser 5; Plataforma Linux con sistema operativo Debian 3.1; Plataforma Linux con sistema operativo Ubuntu.

El trabajo [S2], [S5], [S6] y [S10] presentan el DSP que se debe utilizar para procesar digitalmente la señal, entre los cuales se pone a consideración: Utilizar el software BPM Studio Pro 4.0 para procesar el audio y además presenta la capacidad de ser un mezclador; Utilizar el DSP Ices2 el mismo que trae el servidor Icecast2; Utilizar Butt como DSP por la compatibilidad con los servidores ShoutCast e Icecast, además de ser multiplataforma y permitir hasta cinco secuencias de audio individuales; Utilizar VLC para procesar digitalmente el audio, teniendo la misma compatibilidad entre servidores y plataformas.

#### B. Conclusiones

Dentro las tecnologías open-source actuales para implementar una radio online en un ambiente universitario, se encontró los servidores streaming ShoutCast, Icecast, VLCKern, Windows Media Server, Darwing Server, donde el servidor Icecast es el mejor para la implementación, debido por su capacidad de activar paralelamente varios stream (mountpoint) a través de una misma IP, además ser de fácil instalación,

configuración, administración y brindar la posibilidad del envío de archivos multimedia desde una base de datos.

Para la codificación existen varios codecs donde se elige MP3 por soportar tasas de bits desde los 8 kbps hasta los 320 kbps en CBR, VBR y ABR, además de contar con una alta velocidad de codificación de la misma manera consigue mayor compresión, alta compatibilidad con los servidores, reproductores, navegadores y dispositivos móviles que facilitan la decodificación en el cliente final.

Se requiere el Procesador de Señal Digital Butt para el cliente el mismo que se elige por ser multiplataforma, tener compatibilidad y fácil conexión con el servidor y con el códec elegido para la transmisión del streaming.

Otro elemento clave a considerar es el ancho de banda, este debe ser 256 kbps o más para una comunicación entre el cliente y el servidor, teniendo una compresión de audio mínima de 64 kbps para tener un audio de calidad mayor compresión a medios-altos bitrates.

#### *I) Lista de estudios seleccionados en la revisión sistemática*

- [S1] Pfaff, K. V., & Toma, C. (2003). Audio quality of Internet radio systems. En International Symposium on Signals, Circuits and Systems, 2003. SCS 2003 (Vol. 1, pp. 301–304 vol.1). <http://doi.org/10.1109/SCS.2003.1227008>
- [S2] Te, J. M., Asbir, S. M., Cruz, R. L. de la, Jabel, N. M., Refugido, K., & Marcial, D. (2011). Developing E-Radio: An Online Audio Streaming Application. En 2011 Ninth IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications Workshops (ISPAW) (pp. 322–327). <http://doi.org/10.1109/ISPAW.2011.47>
- [S3] Avestro, J. E., & Feria, R. P. (2006). Adaptive RTP-compatible audio streaming for handheld clients (ARCASH). En 2006 International Conference on Computing Informatics (pp. 1–8). <http://doi.org/10.1109/ICOCI.2006.5276494>
- [S4] Wu, D., Chen, J., & Bao, X. (2011). A scalable to lossless audio streaming system applicable to mobile devices. En 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (pp. 646–650). <http://doi.org/10.1109/ICIEA.2011.5975666>
- [S5] Doherty, J., Curran, K., & McEvitt, P. (2013). A Self-similarity Approach to Repairing Large Dropouts of Streamed Music. ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl., 9(3), 20:1–20:20. <http://doi.org/10.1145/2487268.2487273>
- [S6] Visser, J., & Vogtenhuber, R. (2015). Die Neukoms. Local Streamed Live-performance with Mobile Devices. En Proceedings of the Audio Mostly 2015 on Interaction With Sound (p. 35:1–35:5). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2814895.2814904>
- [S7] Krishnan, V., & Chang, S. G. (2000). Customized Internet radio. Computer Networks, 33(1–6), 609–618. [http://doi.org/10.1016/S1389-1286\(00\)00066-9](http://doi.org/10.1016/S1389-1286(00)00066-9)
- [S8] Jova, J., & Bradshaw, A., & Despaigne, H. (2015). Streaming de archivos multimedia desde bases de datos. Revista Cubana de Ciencias Informáticas. Vol. 9, No. 2. Pág. 1-13.
- [S9] Ichikawa, Y., Arakawa, K., Wano, K., & Murayama, Y. (2002). Issues in Internet Radio. En E. Gregori, M. Conti, A. T. Campbell, G. Omidiyar, & M. Zukerman (Eds.), NETWORKING 2002: Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications (pp. 1129–1134).
- [S10] Petrosino, A., Miraldo, M., & Ferone, A. (2010). A real-time streaming server in the RTLinux environment using

VideoLanClient. Journal of Real-Time Image Processing, 6(4), 247–256. <http://doi.org/10.1007/s11554-010-0183-4>

[S11] Clavijo, E. J. A., Chacón, S. H., & Vásquez, E. C. (2015). Tecnología Streaming para Radio Digital Universitaria. ESAICA, 1(1), 9–17.

[S12] Occhipinti, P., Russo, C. C., Balbi, M. L., Sarobe, M., Charne, J., Guruceaga, M. D., ... Lo Mónaco, G. (2009). La radio en ambientes web como medio de comunicación informativa, educativa, de contenido local y expansión de las nuevas tecnologías. Presentado en XV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10915/20932>

[S13] R. T. Zamora, “Estudio de codecs de compresión de audio utilizando diferentes estilos de música”, nov. 2014.

[S14] D. Rincón Rivera, “MP3: sonido digital al alcance de todos”, Buran, núm. 14, pp. 4–12, 1999

[S15] J. M. Catalán, «Evaluación comparativa de compresores de audio», Universidad Miguel Hernández de Elche, p. 14, 2015.

[S16] J. L. Romero García y J. E. Teran Figueroa, “análisis de formatos de audio y video para transmisión sobre demanda vía internet”, tesis, 2012.

#### V. REFERENCIAS

- [1] “Revista Unilatina - La radio en Internet”, 10-ene-2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.unilatina.edu.co/revista/index.php/la-radio-en-internet>. [Consultado: 10-ene-2016].
- [2] E. J. A. Clavijo, S. H. Chacón, y E. C. Vásquez, “Tecnología Streaming para Radio Digital Universitaria”, *ESAICA*, vol. 1, núm. 1, pp. 9–17, may 2015.
- [3] D. Melendi, M. Vilas, R. Garcia, X. G. Paneda, y V. Garcia, “Characterization of a Real Internet Radio Service”, en *32nd EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications, 2006. SEAA '06*, 2006, pp. 356–363.
- [4] S. Nimmi, V. Saranya, Theerthadas, y R. Gandhiraj, “Real-time video streaming using GStreamer in GNU Radio platform”, en *2014 International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE)*, 2014, pp. 1–6.
- [5] K. V. Pfaff y C. Toma, “Audio quality of Internet radio systems”, en *International Symposium on Signals, Circuits and Systems, 2003. SCS 2003*, 2003, vol. 1, pp. 301–304 vol.1.
- [6] S. Fernández y M. Viviana, “Análisis de la situación actual de las radios en internet. Estudio de caso radiomundo.com, radiosonorama.com y los40principales-ecuador.com en Quito.”, 2015.
- [7] V. Moscoso Moreno, “Propuesta de una radio universitaria comunitaria en la Universidad del Azuay”, 2014.
- [8] U. Goel, G. Aamir, K. Shah, y M. A. Qadeer, “E-radio: The electronic music service”, en *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, 2011, pp. 612–616.
- [9] V. Krishnan y S. G. Chang, “Customized Internet radio”, *Comput. Netw.*, vol. 33, núm. 1–6, pp. 609–618, jun. 2000.
- [10] M. Y. Kang y J. S. Nam, “The study of overlay multicast based Internet broadcasting in parallel media stream server”, en *2009 International Conference on Ultra Modern Telecommunications Workshops*, 2009, pp. 1–3.
- [11] B. Kitchenham, “Procedures for performing systematic reviews”, *Keele UK Keele Univ.*, vol. 33, núm. 2004, pp. 1–26, 2004.