



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

DIRECTIVAS

Carlos Javier Mosquera S. (E)
Rector

Roberto Ferro Escobar
Decano Facultad de Ingeniería

REVISTA REDES DE INGENIERÍA

PhD. Carlos Enrique Montenegro Marín
*Director de la revista, Universidad Distrital
Francisco José de Caldas, Colombia*

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Ruben Aristides Gonzalez Crespo
*Universidad Internacional de la Rioja - UNIR,
España*

Dr. Oscar Sanjuán
ElasticBox, Estados Unidos

Dr. Giovanni Mauricio Tarazona Bermude
Universidad Distrital F.J.C., Colombia

Dr. Sandra Yanet Velasco
Universidad Pontificia de Salamanca

Dr. Nagib Callaos, Universidad Simón Bolívar
Venezuela, República Bolivariana

Dr. Juan Manuel Cueva Lovelle
Universidad de Oviedo, España

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD. Vicente García Díaz
Universidad de Oviedo, España

Dr. Raul Ramos

Universidad Industrial de Santander, Colombia

Dr. Wilfrido Moreno

University of South Florida, Estados Unidos

Dr. María Mercedes Larrondo

Florida Atlantic University, Estados Unidos

Dr. I-Hsien Ting

National University of Kaohsiung, China

Dr. Paulo Gaona

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Dr. Rafael Bello

Universidad Central de las Villas, Cuba

Dr. Daniel Burgos

Universidad Internacional de la Rioja- Unir, España

Dr. Jordán Pascual

Universidad de Oviedo, España

Dr. Cristina Pelayo

Universidad de Oviedo, España

Dr. Manuel Pérez

Universidad de Vigo, España

Dr. Luis Joyanes

Universidad Pontificia de Salamanca, España

Dr. Luz Andrea Rodríguez

Universidad de los Libertadores, Colombia

Dr. Eduardw Rolando Nuñez

Universidad Carlos III de Madrid

Dr. Roberto Ferro Escobar

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas,
Colombia*

Dr. Pablo Jojoa

Universidad del Cauca, Colombia

COMITÉ EVALUADOR

Miller Rivera Lozano

Dr. Universidad del Rosario - Colombia

Pedro Forero Saboya, Msc.

Universidad Libre de Colombia

Elkin Muskus Rincon, Msc.

Universidad Central. Colombia

Oscar Avilés Sanchez

Dr. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia

Alejandro Montes

Universidad de la Salle. Colombia

Luis Quiroga Sichacá. Msc.

Universidad de la Salle. Colombia

Armando Solano Suárez. Msc.

Universidad de la Salle. Colombia

Roberto Ferro Escobar

Dr. Universidad Distrital FJDC. Colombia

John Cabrera López. Msc.

Universidad Autónoma de Occidente. Colombia

Rubiel Vargas Cañas. Msc.

Universidad del Cauca. Colombia

Jorge Erazo Aux. Dr.

Institución Universitaria Antonio José Camacho. Colombia

Bernardo García Loaiza. Msc.

Universidad EAFIT. Colombia

Johann Hernandez Mora. Dr.

Universidad Distrital FJDC. Colombia

Carlos Ramos Paja. Dr.

Universidad Nacional de Colombia

Vicente García Díaz. PhD.

Universidad de Oviedo. España.

Luz Andrea Rodríguez

Dr. Universidad de los Libertadores

Carlos Gómez Gómez. PhD.

Universidad de Caldas. Colombia

Luis Alejandro Arias. Msc.

Universidad Autónoma de Colombia

Luis Rodríguez Baena. PhD.

Universidad Internacional de la Rioja. España.

Ricardo Chincilla. Msc.

Universidad de Costa Rica

PREPARACIÓN EDITORIAL**Jenny Alexandra Jiménez, Msc.**

Corrección de Estilo

David Mauricio Valero Gonzalez, Ing.

Diagramación

REVISTA REDES DE INGENIERÍA

Redes de Ingeniería es una revista electrónica Institucional adscrita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Es una revista de carácter semestral que publica los resultados de Investigación, revisión, reflexión de la comunidad académico-científica los meses Junio y Diciembre de cada año. Posee un sistema de divulgación netamente electrónico y su primer número fue publicado en Junio del 2010.

Redes de Ingeniería es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. Las opiniones expresadas de esta publicación pueden ser reproducidas citando la fuente.

COBERTURA TEMÁTICA

Las líneas de publicación de la revista están enmarcadas en las áreas de las Telecomunicaciones, Electrónica, Sistemas, Bioingeniería, Eléctrica, Medio Ambiente, Educación, Industrial, Geomática; además de todos aquellos temas que converjan hacia la Ingeniería.

MISIÓN

La revista Redes de Ingeniería tiene el objetivo de servir como medio de divulgación de los resultados obtenidos a través procesos de investigación, reflexión, indagación en entornos Educativos y Empresariales en temas de actualidad en "pro" del mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad en general.

REPRODUCCIÓN

Los textos de los artículos son publicados bajo la responsabilidad de los Autores y no reflejan el pensamiento de la revista, ni comprometen de ninguna manera a la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas".

INDEXACIÓN

La revista Redes de Ingeniería es una publicación electrónica académica indexada en el Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) en categoría C desde el 1 de Enero de 2012 y registra en EBSCO HOST, en el índice bibliográfico e-revistas, Actualidad Iberoamericana, Índice de Revistas Latinoamericanas en ciencias PERIÓDICA y Latindex

**DIRECCIÓN**

Universidad Distrital "Francisco José de Caldas"
Facultad de Ingeniería (Carrera 7 # 40 -53, Piso cuarto)
Especialización en Teleinformática
Bogotá, Colombia (Sur América)
redesdeingenieria@udistrital.edu.co



RED DE INGENIERÍA
 Universidad Distrital José María Velasco - Facultad de Ingeniería
 ISSN: 2248-762X

Redes de Ingeniería
E-ISSN: 2248-762X
 Vol. 6 No. 1
 Enero-Junio 2015

T abla de Contenido

EDITORIAL 4

Uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación por parte de los docentes en las facultades de ingeniería

Fernando Martínez Rodríguez, Juan González Martínez

6-24

Sistemas Tutores Inteligentes como apoyo en el proceso de aprendizaje

Yilver Estiven Molina Hurtatiz, Yois Pascuas Rengifo, Edwin Eduardo Millán Rojas

25-44

La Realidad Aumentada como apoyo didáctico en el aprendizaje del doblaje de alambres en los procedimientos de ortodoncia y ortopedia

Jairo Augusto Cortes Méndez, María Alejandra González B., Jaime Alberto Páez Páez, Adíela Ruiz

45-59

Sistema de transporte y embalaje utilizando robótica cooperativa basada en teoría de colonias de hormigas mediante plataforma Mindstorm de LEGO®

Julián Rolando Camargo López, Nérida Johanna Hernández Suárez, Ana del Pilar Rodríguez Tibaduiza

60-71

Técnicas de procesamiento de señales utilizadas para el análisis de la distorsión armónica generada por variadores de frecuencia en motores de inducción
Manuel Iván Ballesteros Camacho, Francy Julieth Cadena Villalba, Adolfo Andrés Jaramillo Matta

72-84

Implementación en FPGA de un clasificador de movimientos de la mano usando señales EMG

David Alexander Reyes López, Mauricio Arias López, Jorge Enrique Duarte Sánchez, Humberto Loaiza Correa

85-94

Modelo de gestión de energía eléctrica domiciliaria: propuesta preliminar

Adriana Marcela Vega Escobar, Francisco Santamaría, Edwin Rivas Trujillo

95-105

Bitcoin como alternativa transversal de intercambio monetario en la economía digital

Zully Julieth Palacios Cárdenas, Miguel Andrés Vela Avellaneda, Giovanni Mauricio Tarazona Bermúdez

106-128

Telecentros Comunitarios Manizales vistos por sus usuarios

Julio César Meza Ramírez, Omar Antonio Vega

129-136



La *Revista Redes de ingeniería*, como revista de difusión del conocimiento multidisciplinaria en ingeniería, es una revista de acceso abierto adscrita a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. En el presente número, entrega al lector nueve artículos que han superado todos los procesos de revisión entre pares de doble ciego, garantizado, como ha sido siempre característico, una alta calidad en sus publicaciones; así, los títulos publicados son:

- La realidad aumentada como apoyo didáctico en el aprendizaje del doblaje de alambres en los procedimientos de ortodoncia y ortopedia.
- Sistema de transporte y embalaje utilizando robótica cooperativa basada en teoría de colonias de hormigas mediante plataforma mindstorm de lego®.
- Uso y apropiación de las tecnologías de la información y la comunicación por parte de los docentes en las Facultades de Ingeniería.
- Implementación en FPGA de un clasificador de movimientos de la mano usando señales EMG.
- Sistemas tutores inteligentes como apoyo en el proceso de aprendizaje.
- Técnicas de procesamiento de señales utilizadas para el análisis de la distorsión armónica generada por variadores de frecuencia en motores de inducción.
- Bitcoin como alternativa transversal de intercambio monetario en la economía digital.
- Modelo de gestión de energía eléctrica domiciliaria: propuesta preliminar.
- Telecentros comunitarios Manizales vistos por sus usuarios.

En este sentido y continuando fieles a su lema “Rompiendo las barreras del conocimiento”, la revista agradece a todos los autores por sus aportaciones, al comité editorial, al comité científico, a los evaluadores y a la comunidad académico-administrativa de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por todo su trabajo y empeño en pro del conocimiento; y en especial a nuestros lectores, ya que esta revista ha sido creada para ustedes, por lo cual esperamos que contribuya positivamente en su conocimiento.

Recordamos a todos que la revista tiene una recepción parmente de artículos e invitamos a la comunidad académica a difundir los resultados de sus trabajos en esta revista, su revista, Redes de Ingeniería.

Carlos Enrique Montenegro
Editor de la *Revista Redes de Ingeniería*
Facultad de Ingeniería
Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”
Bogotá, D.C. Colombia.



Uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación por parte de los docentes en las facultades de ingeniería

Use and Appropriation of Information and Communication Technologies by Teachers in the Faculties of Engineering

Fernando Martínez Rodríguez¹ Juan González Martínez²

Para citar este artículo: Martínez, F., González, J. (2015). Uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación por parte de los docentes en las facultades de ingeniería. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 6-24.

Recibido: 10-marzo-2015 / **Aprobado:** 13-mayo-2015

Resumen

Se presentan los resultados encontrados en la fase diagnóstica de la tesis doctoral: "Referentes pedagógicos para el uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) al interior de los procesos educativos planeados y desarrollados por los docentes de educación superior". Esta investigación se realiza en las facultades de ingeniería de tres universidades de Bogotá D.C., partiendo de la intuición de que los temas pedagógicos y didácticos en estas facultades siempre se han considerado en un segundo plano. La metodología de esta fase partió del enfoque cuantitativo mediante el diseño y la aplicación de una encuesta; el instrumento perseguía analizar el nivel de uso y apropiación de las TIC al interior de los procesos educativos que orientan los docentes de educación superior en ingeniería. El estudio permite confirmar que los docentes utilizan las TIC, pero también pone de manifiesto la necesidad imperiosa de orientar a los docentes de estas facultades en el adecuado uso de dichas tecnologías desde el punto de vista pedagógico y didáctico.

Palabras clave: pedagogía, material de apoyo didáctico, tecnología educativa.

Abstract

This research presents the results of the diagnostic phase of the thesis "Pedagogical References for Use and Appropriation of Information and Communications Technology (ICT) in Educational Processes Planned and Developed by Teachers in Higher Education." This research was conducted in the engineering schools of three universities in Bogotá (Colombia), based on the intuition that pedagogic and teaching concerns in these departments have not always been faced in a good way. The methodology designed for this phase began with the quantitative approach through design and implementation of a survey: the instrument sought to analyze the level of use and appropriation of ICT into educational processes that guide engineering teachers in higher education. The study confirms that teachers do use ICT, and it also highlights the urgent need for guidance for teachers in these areas on the proper use of technologies not only from the teaching and learning points of view.

Keywords: educational resources, ICT, pedagogy.

1. Licenciado en matemáticas y física, ingeniero de Sistemas, especialista en Computación para la Docencia, magíster en Software Libre, doctorado en Tecnología Educativa: e - learning y gestión del conocimiento (Candidato); docente de planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Proyecto curricular: Ingeniería de Sistemas, Director del Grupo de Investigación: VIRTUS. Bogotá D.C. fmartinezr@udistrital.edu.co
2. Doctor en Filología y Ciencias de la Educación, máster en Tecnología Educativa, licenciado en Antropología, profesor del Departamento de Pedagogía de la Universitat Rovira i Virgili, Coordinador del Máster en Tecnología Educativa: e-Learning y Gestión del Conocimiento. Tarragona, España. juan.gonzalez@urv.cat

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas se viene hablando y escribiendo sobre Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC); es innegable que han cambiado estructuras, formas de vivir, maneras de concebir y ejecutar procesos en todos los ámbitos del ser humano, etc. Cambios que no hace muchos años eran verdaderamente inconcebibles, pero que ahora son una realidad, hasta el punto de convertirlos en una rutina de vida. Absolutamente todos los ámbitos del ser humano han sido traspasados por las TIC en pequeña o gran medida, como lo afirma Pérez [1] al hacer referencia al “punto de viraje” que se da por las nuevas tecnologías. Pues bien, el campo educativo no podía ser ajeno a estos cambios estructurales: el correo electrónico, los blogs, las wikis, los foros, las plataformas virtuales de aprendizaje, las aulas virtuales, los objetos de aprendizaje, entre otros elementos, se han venido posicionando dentro de los procesos educativos en todos los niveles, desde el preescolar hasta educación superior, desde el proceso educativo más simple hasta el más sofisticado; todos ellos han sido tocados en menor o mayor sentido por las TIC.

Lo anterior ha sido verificado por la UNESCO en el análisis regional de la integración de las TIC en la educación y de la aptitud digital en América Latina y del Caribe [2]. El estudio permite visualizar el uso de las nuevas tecnologías en el aprendizaje y las implicaciones que estas ofrecen a los estudiantes para la adquisición de nuevas competencias; en la facilidad y mejoramiento en la formación de docentes y en la reducción de costos asociados para proveer la enseñanza.

Muchas son las investigaciones que se han venido haciendo sobre el uso y la apropiación de estas nuevas tecnologías por parte de las instituciones, de los docentes y de los estudiantes. Algunas de ellas se dedican a inventariar la cantidad de herramientas que se pueden utilizar y la forma como las

deben utilizar los docentes [3]; otras, en cambio, han venido reportando el impacto de dichas tecnologías en los procesos educativos [4]; encontramos también investigaciones dedicadas a fomentar estrategias para su uso [5]; otras reportan los métodos, las estrategias y los instrumentos de evaluación del aprendizaje y su relación con la naturaleza de la educación superior [6]; algunas tratan de dar respuesta al uso de las aulas virtuales por parte de los docentes universitarios, al proceso de integración y al uso pedagógico de las TIC en los centros educativos [7]; otras tratan de indicar la ruta de apropiación que se debe seguir en el desarrollo profesional docente [8]; finalmente, algunas se dedican al estudio de factores que intervienen al adoptar sistemas administradores de aprendizaje [9].

En todo caso, es indudable que las TIC han penetrado el ámbito educativo y, como reflejo de ello, las plataformas y herramientas virtuales vienen siendo utilizadas por los docentes de modo habitual, en menor o mayor grado [10]. Por tanto, nos corresponde ahora estudiar cómo se vienen usando las tecnologías desde el punto de vista pedagógico, didáctico y metodológico.

Para ello, este artículo reporta los primeros resultados hallados en la fase diagnóstica de la tesis doctoral: “Referentes pedagógicos para el uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) al interior de los procesos educativos planeados y desarrollados por los docentes de educación superior”. El artículo inicia tomando como referente algunas investigaciones que se acercan al objeto de estudio de este proyecto; en segunda instancia, se pone de manifiesto el contexto colombiano frente a los esfuerzos que ha venido adelantando el Ministerio de Educación Nacional (MEN) en el uso y en la apropiación de las TIC en las instituciones de educación superior; el artículo continúa reportando el estado actual del uso de las TIC en los distintos espacios educativos en las tres facultades que se analizarán en esta investigación;

luego se indica el objetivo abordado en esta fase inicial, al igual que la metodología desarrollada y resultados encontrados en la aplicación del instrumento aplicado a los docentes de la Facultad de Ingeniería de las tres universidades, tomadas como muestra para adelantar esta investigación. El artículo finaliza con la discusión y el análisis desde los estudios previos adelantados por cada caso de estudio versus los resultados encontrados en la fase diagnóstica.

2. USO DE LAS TIC EN EDUCACIÓN SUPERIOR

El uso y la apropiación de las TIC por parte de los docentes de educación superior ha sido objeto de numerosas investigaciones a lo largo de estos últimos años; sin embargo, en esta investigación solo algunos estudios se tomaron en cuenta, teniendo como criterio principal la incursión de las TIC en la educación superior.

Iniciamos con Cabero [8], quien permite visualizar los aspectos críticos que es necesario focalizar para facilitar la penetración de las TIC en la universidad. Los diez aspectos que indica Cabero son: (1) presencia física de la tecnología; (2) existencia de centros dinamizadores; (3) producción de objetos de aprendizaje de calidad; (4) cambio de la concepción de la formación universitaria y modificación de la concepción del currículum; (5) superación de las incertidumbres que todo cambio provoca y liderazgo; (6) diversidad funcional; (7) alfabetización digital; (8) formación del profesorado; (9) investigación pedagógica y; por último, (10) transformación de los modelos de evaluación. Estos aspectos, pese a ser considerados desde el 2003, hoy once años después aún son válidos y se deben tener en cuenta en el momento de implementar las TIC en las instituciones de educación superior.

Un segundo estudio [11], pone de manifiesto la necesidad apremiante de capacitar a los docentes

en el manejo de las TIC, de tal modo que les permita visualizar sus aplicaciones en los espacios educativos; este estudio considera dos grandes pilares con respecto a la capacitación de los docentes: el aspecto técnico y el didáctico. En concreto, los docentes deben ser capacitados en el manejo continuo y mancomunado de estos dos grandes aspectos, para asegurar el éxito de su aplicación en los espacios educativos.

Por su parte, en su artículo sobre los usos de las TIC en educación superior, Castañeda, Pimienta y Jaramillo [5] dedicaron sus esfuerzos a responder la pregunta de cómo mejorar el uso de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje. El objetivo principal del estudio era el de fortalecer las estrategias de integración de las TIC en los currículos de dos programas de pregrado. La investigación reporta una propuesta para la integración de las TIC que responda a las siguientes preguntas: ¿qué tipos de herramientas usa?, ¿cómo las usa? y ¿cuáles son los objetivos de aprendizaje? Para llevarlo a cabo, los investigadores siguieron tres fases: usos de las TIC, ambientes de integración y propuesta de integración. Dentro de las conclusiones que presentan en su estudio, encuentran que la mayor parte de docentes hacen uso de las TIC como una herramienta de apoyo desde la perspectiva administrativa al orientar sus cursos; encuentran también que estas son utilizadas para la producción y elaboración de material didáctico; de igual forma este estudio indica que los docentes usan las TIC para buscar información. Ahora bien, en menor proporción se encuentra la interacción que los docentes logran con sus estudiantes en ambientes virtuales; encontraron pocas propuestas, por parte de los docentes, para incentivar el trabajo colaborativo y el acompañamiento hacia sus estudiantes mediante los recursos virtuales; de las pocas propuestas encontradas se destaca el uso de simuladores que permiten el análisis, organización y presentación de información por parte de los estudiantes.

Otro estudio realizado [3] pone de manifiesto lo importante que resulta que los docentes cuenten con métodos claros que les permitan obtener el mayor provecho de las posibles herramientas virtuales (wikis, herramientas colaborativas on-line, blogs, foros, redes y marcadores sociales), con las que podrían contar en sus prácticas educativas, a fin de potenciar la calidad de las mismas.

Por su parte, en su estudio sobre las concepciones de los docentes acerca de las TIC en la praxis docente universitaria, García [12] comparte lo que manifiestan los docentes frente al uso de las TIC en sus prácticas educativas; los docentes muestran falencias de cara al uso de las TIC en sus prácticas pedagógicas, tales como no contar con la habilidad para desarrollar multimedia, navegar por Internet y crear materiales educativos para estos medios, etc. Aunque este artículo recoge los resultados de la fase inicial de su estudio, es una muy buena aproximación respecto al análisis del pensar y del sentir de los docentes al incorporar las TIC en sus espacios educativos.

En su investigación sobre este mismo tópico, Rendón y Toro [6] plantearon el siguiente interrogante: “¿Cuáles son los usos de las TIC en procesos formales de enseñanza y aprendizaje universitarios, desarrollados en un entorno educativo de comunicación virtual?”. Trató de responder su investigación por medio de la interpretación de los usos pedagógicos reales de las TIC en los procesos educativos universitarios, bajo la perspectiva de unidad didáctica, elaborada en un ambiente de comunicación virtual en el que se deben reconocer los componentes pedagógicos planeados y las relaciones existentes con las TIC, en procesos educativos universitarios. El estudio logra develar las categorías que deben considerarse una unidad didáctica al hacer uso de las TIC, indicando que estas deben ser: gestión de la tarea académica y gestión de la participación social, considerando en esta última las dimensiones de la: información, comunicación y valoración.

Lejano al contexto colombiano, pero también interesante, encontramos el estudio de Fariña, González y Area [7], quienes se dieron a la tarea en la Universidad de La Laguna (España) de realizar un estudio que permitiera analizar el uso que hacen los docentes universitarios de las aulas virtuales, como apoyo a la docencia presencial. Tomaron como plataforma administradora de aprendizajes (LMS, por las siglas inglesas *learning management system*) la plataforma Moodle; la investigación permitió visualizar los aspectos positivos y negativos respecto al uso de recursos y actividades que utilizan los docentes en las aulas virtuales. Una fortaleza encontrada, es la integración de las TIC en la docencia y su continuo crecimiento. Una debilidad manifestada en el estudio, indica que el campus virtual se viene usando principalmente como un repositorio de información y seguimiento de actividades que hacen los estudiantes y no se potencia el papel activo los mismos, respecto a sus aprendizajes; no se fortalece el ámbito social que permita la interrelación de los estudiantes mediante estas tecnologías.

Aunque el recuento de investigaciones podría ser mucho más extenso, finalizamos con la investigación de Madrid [4], quien señala que: “hay una relación directamente proporcional entre la frecuencia y el dominio en el uso de las TIC por parte de los docentes, y que no existe una diferencia significativa entre la intensidad de uso en las actividades relacionadas con la investigación en proporción a la docencia y la extensión” (p. 4). En cualquier caso, el estudio permite visualizar y categorizar los distintos cambios que las TIC han logrado en los distintos elementos que configuran el trabajo de los docentes universitarios, los cuales son: investigación, docencia, extensión y vinculación.

Como decíamos, los reportes de investigación anteriormente mencionados son una muestra de la cantidad de investigadores que vienen trabajando acerca de la incursión de las TIC en el ámbito

educativo; gracias a ellos, podemos construir un referente claro y preciso en relación con la fase diagnóstica de la investigación que pretende reportar este artículo.

3. INCURSIÓN DE LAS TIC EN EDUCACIÓN SUPERIOR EN COLOMBIA

Para el contexto colombiano debemos partir del monitoreo que la UNESCO realizó entre los años 2005 a 2010 en los países latinoamericanos y caribeños, respecto a los proyectos en el desarrollo de la entonces denominada informática educativa [13], [14] y [15]. En dicho estudio se concluyó que el uso y la apropiación de las TIC en Colombia se concreta en el marco del plan nacional de TIC, el cual aspira a lo siguiente: “en el 2019 todos los colombianos conectados, todos los colombianos informados, haciendo uso eficiente y productivo de las TIC, para mejorar la competitividad con inclusión social. En ese año, Colombia estará dentro de los tres primeros países latinoamericanos en los indicadores internacionales de uso y apropiación de TIC” [16].

Para lograr este cometido, el Ministerio de Educación Nacional ha definido tres grandes ejes de política en materia de incorporación de las TIC en el contexto educativo, con el fin de promover el uso y la apropiación de las TIC al servicio del mejoramiento de la calidad y equidad de la educación y la competitividad de las personas del país. Estos tres ejes son: (1) acceso a la tecnología, (2) acceso a los contenidos y (3) uso y apropiación [17]. En este sentido, la figura 1 describe las áreas que cubren las políticas y la aplicación de las TIC en todo lo referente a la educación.

Como consecuencia de ello, las políticas del Ministerio de Educación Nacional (en adelante, MEN) se resumen en: permitir el acceso a la infraestructura de las TIC; eliminar el analfabetismo digital en Colombia; trabajar por el uso eficaz de las TIC en la



Figura 1. Áreas que cubren las políticas de uso y aplicación de las TIC en lo referente a la educación.

búsqueda de la calidad y la oferta educativa; crear proyectos que contribuyan a ampliar el espectro de las nuevas tecnologías; trabajar hacia una adecuada gestión de contenidos digitales y, finalmente, crear un ambiente favorable en el uso de las TIC para todos los estamentos educativos, que permita hacer investigación y comparación sobre nuevas metodologías y tecnologías para el desarrollo del país [18].

Los proyectos que se propone desarrollar inicialmente el Plan Nacional de TIC en este eje o línea de acción son los siguientes:

- Programa de uso de medios y TIC (MTIC).
- Programa Computadores para Educar.
- Creación de habilidades para el uso de TIC en el desarrollo productivo.
- Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA).
- Proyectos alternativos de educación.

El MEN, en el componente de uso y apropiación, inscribe la ruta de apropiación de TIC en el año 2007 para el desarrollo profesional docente, que se denominó precisamente RUTA (2008-2019) y que no son nada diferente de las coordenadas básicas que deben guiar todas las propuestas relacionadas

con la formación de los docentes de Educación Superior para la apropiación de TIC, y que deben garantizar unos mínimos referentes nacionales. La Ruta de Apropiación de TIC para el Desarrollo Profesional Docente articula la formación por competencias propuesta por el MEN y propone, que “el aprendizaje que pueden y deben lograr los docentes para apropiarse las TIC con un sentido pedagógico, debe ir más allá del manejo básico de herramientas de información y comunicación para apoyar el desarrollo y fortalecimiento de otras competencias básicas decisivas para el desarrollo humano y los aprendizajes significativos que se apropian en el aula y se aplican en la vida” (p.11) [18]. En efecto, la Ruta persigue que se formen docentes innovadores, que usen las TIC en la búsqueda del fortalecimiento de su área disciplinar específica, para el desarrollo de nuevos modelos en sus prácticas educativas, lo que traería como consecuencia enormes cambios que transformarían la educación en forma positiva.

4. ANTECEDENTES

4.1. Contextualización de lo desarrollado por las tres universidades tomadas como muestra para este estudio

Si concretamos aún más nuestro contexto, debemos prestar atención a la investigación que se ha iniciado con la fase diagnóstica de la tesis doctoral: “Referentes pedagógicos para el uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) al interior de los procesos educativos planeados y desarrollados por los docentes de educación superior”; que tiene por objetivo general formular y validar referentes pedagógicos que permitan orientar a instituciones y docentes de educación superior, colombianos en primera instancia, en el adecuado uso y apropiación de las TIC al interior de los procesos educativos orientados por ellos. La tesis tiene como unidad de análisis las facultades de ingeniería; y para este propósito

se conforma una muestra intencional de tres universidades de Colombia con sede en la Ciudad de Bogotá D.C. Algunos criterios de selección para la conformación de la muestra han sido: acreditación de alta calidad otorgada por parte del MEN, en este sentido se ha tomado la Universidad de la Salle; reconocimiento como universidad pública, en este sentido se ha seleccionado la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, dado que es la única institución pública perteneciente al Distrito Capital de Bogotá; y por la contribución reconocida a nivel nacional e internacional en la formación técnica y tecnológica se tomó la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Los criterios descritos anteriormente representan la mayor cantidad de instituciones de educación superior. La descripción de la muestra es:

- Universidad Distrital Francisco José de Caldas (en adelante, UD). Esta es la universidad pública de Bogotá, con más de 27,000 estudiantes, 45 programas de pregrado y 34 programas de postgrado. Para este estudio se tomará la muestra de los docentes que prestan sus servicios en la Facultad de Ingeniería y los cinco programas ofertados en esta sede.
- Universidad de la Salle (en adelante, UniSalle). Se trata de una universidad privada con sedes en Bogotá y Yopal (Casanare); esta es una institución con acreditación de alta calidad; cuenta con más de 13.000 estudiantes, 23 programas de pregrado y 24 programas de postgrado. Para este estudio se tomará la muestra de los docentes que prestan sus servicios en la Facultad de Ingeniería y sus seis programas ofertados en la ciudad de Bogotá.
- Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (en adelante, ETITC). Es una institución pública de educación superior con sede en Bogotá, con 110 años de tradición impartiendo educación técnica y tecnológica para el país; en la actualidad cuenta únicamente con programas de ingeniería bajo la modalidad de ciclos

propedéuticos. Tiene más de 4.000 estudiantes; 15 programas de pregrado contados entre los ciclos: técnico, tecnológico y profesional; adicionalmente cuenta con tres programas de postgrado. La muestra para este estudio se tomará de los docentes que prestan sus servicios en cualquiera de los programas ofertados por la institución.

Se han elegido tres universidades como muestra, buscando un equilibrio investigativo en cuanto se puede contar con instituciones de educación superior de carácter público, privado, tecnológico y profesional. Las tres instituciones han venido usando las TIC en sus procesos educativos, en menor o mayor grado. A continuación, veamos los estudios previos realizados por cada una de estas instituciones y que se toman como referente para esta tesis.

La Universidad Distrital participa en el programa PlanEsTIC. La Comunidad PlanEsTIC es una comunidad de práctica alrededor del tema de planeación estratégica de incorporación de TIC en procesos educativos, en Instituciones de Educación Superior (en adelante, IES). Considera la existencia de tres subcomunidades [28] :

- IES interesadas en la planeación estratégica para la incorporación de TIC.
- IES que están siendo acompañadas en su proceso de planeación estratégica para la incorporación de TIC.
- IES que se encuentran en la fase de implementación de su plan estratégico de incorporación de TIC.

El proceso que ha desarrollado la Universidad Distrital en PlanEsTIC ha estado en el contexto de formular políticas y lineamientos para incorporar las TIC en los procesos educativos e inclusive formular una

estrategia institucional para la virtualización. La UD cuenta con un grupo de docentes, coordinado por el profesor José Ignacio Palacios Osma, que ha venido trabajando en el proyecto PlanEsTIC de forma sistemática. La acción que se ha desarrollado a la fecha es la aplicación de una encuesta con el ánimo de determinar el nivel de uso y apropiación de las TIC que tienen los docentes de la UD, con miras a establecer las fortalezas y las debilidades en este aspecto y, con ello, diseñar e implementar un proceso de formación específico. Por otro lado, existe un segundo grupo de trabajo coordinado por el profesor Juan Manuel Sánchez, que viene trabajando en la planificación para la implementación del plan estratégico de TIC; a la fecha de la escritura de este artículo, dicho grupo se encuentra en el proceso de creación de las diferentes políticas y en la conformación del equipo de gestión del Plan Maestro.³

La UniSalle también ha estado trabajando por algún tiempo en el programa PlanEsTIC. A la fecha de la escritura de este artículo quien dinamiza el uso y la apropiación de las TIC en esta universidad es un grupo denominado la Salle HumaníSTICa; este grupo actúa en el marco de un proyecto homónimo dependiente de la Vicerrectoría Académica, a través de la Coordinación de Pedagogía y Didáctica de la Universidad, y cuyo objetivo responde a la necesidad de incorporar mediaciones pedagógicas y tecnológicas en las prácticas docentes de los profesores universitarios. Igualmente, propende incentivar el uso responsable de las TIC, su comprensión, su implicación y su utilización en el ámbito universitario en consonancia con el Proyecto Educativo Institucional (PEUL) y el Enfoque Formativo Lasallista (EFL). Este proyecto procura ser un eje articulador y potenciador del nuevo escenario educativo y centra su quehacer en el desarrollo de la dignidad de la persona y en su necesidad de acompañamiento educativo en sus procesos de formación

3. Información entregado por los profesores: José Ignacio Palacios Osma y Juan Manuel Sánchez los días 13 de febrero, 2 de marzo y 31 de marzo de 2014.

y desarrollo integral [29]. El grupo dinamizador viene ofreciendo cursos al personal docente y administrativo sobre el uso de herramientas virtuales, plataformas y aulas virtuales. De igual forma, se ha aplicado un instrumento (encuesta) diseñado como parte de los proyectos de investigación de cualificación de procesos de comunicación y aprendizaje por medio del fortalecimiento de habilidades en escritura y lectura mediadas por TIC en la educación media y profesional (convergencia y retos) y el grupo “La Salle Humanística”.

El ejercicio buscó incluir a todos los docentes de todas las sedes de la UniSalle, cátedra y de planta, y se realizó durante el año 2012 y el primer semestre de 2013. El instrumento se aplicó para establecer el estado actual del uso y de la apropiación de la TIC; ratificar planes y reorientar procesos que permitan un mayor espectro de uso de las tecnologías en los espacios educativos en la institución. Además permitió identificar la necesidad de los docentes de obtener posibilidades de capacitación más amplias y continuas acondicionadas a sus niveles de conocimiento y dominio de las TIC. Asimismo, se reiteró la importancia de mejorar los recursos técnicos de la universidad y de difundir de una manera más contundente los cursos de capacitación de las TIC que ya se realizan en la universidad.

Por su parte, en la ETITC, quien dinamiza el proceso de implementación de las TIC es el grupo de investigación Virtus. Desde el año 2007 [10] se viene trabajando en el “diseño e implantación del componente de educación virtual para la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central”; más en concreto, el grupo dinamizador ha venido trabajando en la capacitación de los docentes para el adecuado manejo de la plataforma Moodle, en la adecuación de aulas virtuales, en el manejo de herramientas virtuales de aprendizaje y en el diseño instruccional que debe distinguir estos trabajos. Asimismo, la ETITC participó en el proyecto Fortalecimiento de las Instituciones Técnicas y Tecnológicas (ITT) [30],

cuyo objetivo era fortalecer a dieciséis instituciones (entre ellas, la ETITC), en sus procesos de uso e incorporación de TIC dentro de sus planes institucionales de mejoramiento, con el fin de procurar el logro de procesos académicos de calidad, mediados por la incorporación de las TIC como apoyo a la presencialidad y a la virtualidad. De igual forma, el grupo de investigación Virtus ha venido realizando varios proyectos que permiten establecer el impacto de las herramientas virtuales en la educación técnica y tecnológica [19], así como en la evaluación de la educación virtual en la ETITC [9]. Acerca de esta última cuestión, la evaluación se realizó mediante una encuesta aplicada a todos los estamentos: estudiantes, docentes, directivos y administrativos; los resultados han permitido reformular procesos en el uso de las TIC al interior de los espacios presenciales en la ETITC.

5. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA FASE DIAGNÓSTICA

5.1. Objetivo

Llegados a este punto, y después de estos antecedentes, el objetivo de esta fase diagnóstica es analizar el nivel de uso y apropiación de la TIC por parte de los docentes de la facultad de ingeniería, tomando como muestra intencional tres instituciones universitarias colombianas conformadas por una universidad privada, una universidad pública y una escuela tecnológica pública.

5.2. Metodología

La metodología de la presente fase diagnóstica de la investigación parte de un enfoque cuantitativo mediante el diseño y aplicación a los docentes de una encuesta de reactivos abiertos y cerrados. Dicha encuesta, inspirada en la que el grupo Virtus utilizó en la ETITC [19], consta de veintiuna preguntas orientadas a establecer el grado de uso y apropiación de las TIC al interior de los procesos educativos que

orientan los docentes de educación superior. A grandes trazos el instrumento consideró cuatro aspectos fundamentales: (1) uso de las TIC, (2) apropiación de las TIC, (3) pedagogía y (4) didáctica.

- Inicialmente la encuesta solicitaba leer el consentimiento informado para enterar a los participantes del objetivo del instrumento y del rol que cumpliría como participante.
- El primer capítulo permite caracterizar la muestra. Consta de nueve preguntas que permiten recoger datos particulares de los participantes; esta parte para el estudio diagnóstico es clave dado que poder reconocer los participantes implica que con estos mismos participantes se tomará al azar submuestras para fases futuras de la investigación.
- El segundo capítulo constaba solo de una pregunta la cual permitía establecer si el participante usa o no las TIC en su ejercicio docente; al contestar no, se culminaba la encuesta dado que el siguiente conjunto de preguntas estaba dedicado a establecer de qué forma se usan las TIC en las prácticas docentes. Los que contestaban afirmativamente encontraban dos preguntas adicionales en este capítulo donde debían escribir la experiencia en el uso de las TIC y cómo las utilizan.
- El tercer capítulo permite estudiar la apropiación de las TIC por parte de los docentes. Esta parte constaba de dos preguntas que permiten conocer los recursos TIC (blogs, wikis, foros, sitio web, redes sociales, correo electrónico, chat académico) que usan los docentes con sus estudiantes y las herramientas (procesadores de texto, software para presentaciones, hojas de cálculo, canales de video, canales para subir presentaciones, software de simulaciones, software de autor) que usan para crear material didáctico.
- El cuarto capítulo permite sondear aspectos de pedagogía y didáctica. Esta parte consta de cinco preguntas claves que dan la oportunidad de analizar si se crean recursos pedagógicos (adecuación de cursos en plataformas virtuales, objetos de aprendizaje, objetos informativos, material digitalizado, uso de aulas virtuales); de igual forma los recursos pedagógicos utilizados no creados; aquellos recursos que encuentra ya elaborados (repositorios de objetos virtuales de aprendizaje, cursos en plataformas virtuales, objetos virtuales de aprendizaje, objetos informativos, material digitalizado, aulas virtuales, canales de video conferencias). En este capítulo se interpela al participante sobre su capacitación propia o guiada en temáticas de pedagogía y didáctica; finaliza este capítulo preguntando por los referentes pedagógicos y didácticos que siguen los docentes participantes en sus prácticas educativas.

La aplicación del instrumento se realizó en las facultades de ingeniería de las universidades Distrital Francisco José de Caldas, Universidad de la Salle y la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. El instrumento⁴ estuvo dispuesto en Google Drive para ser diligenciado en línea entre el 31 de mayo y el 4 de junio de 2014; a los docentes se les indicó la meta de la investigación y se dieron instrucciones claras mediante el documento de consentimiento informado; el propósito de este documento es proveer a los participantes en esta investigación una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como de su rol en ella como participante.

5.3. Validación del instrumento

Para la validación del instrumento se aplicó una prueba piloto a cuatro participantes adjuntando un cuestionario para evaluar la coherencia, la comprensión (claridad y redacción) y la pertinencia de

4. El instrumento se encuentra disponible en: <https://docs.google.com/forms/d/1r7k9-Z75Ab3NkvuR7YzoJwU4N56sVMCxMvDOodyZU/viewform#start=openform>

las preguntas. Por otro lado, se calculó la consistencia interna del mismo a través del test de Alfa de Cronbach, y se obtuvo un puntaje de 0.795. Este mismo cálculo se hizo a partir de las 177 encuestas recabadas, en donde se obtuvo un valor de 0.841, con lo cual se considera altamente confiable [20].

5.4. Tamaño de la muestra

Para obtener el tamaño de la muestra se seleccionó un 93 % de nivel de confianza y un margen de error del 7 % [21]. Bajo estos parámetros, el cálculo de la muestra se realizó en las tres universidades escogidas, sobre una muestra de 880 docentes que prestaban sus servicios en las facultades de ingeniería con dedicación de tiempo completo (planta u ocasional), medio tiempo (planta u ocasional) o como catedráticos, durante el primer semestre de 2014. El cálculo arrojó un total de 141 individuos, y se lograron recabar 177 instrumentos contestados.

Tabla 1. Categorización de la muestra.

Género	Masc.	Fem.						
	27.1%	68.4%						
Edad	20-30	31-40	41-50	51-60	> 60			
	4.5%	28.2%	29.9%	23.2%	9.6%			
Tiempo de experiencia como docente universitario	< 1 año	1-3	4-6	7-9	10-15	16-20	21-30	>30
	2.3%	9%	11.9%	11.9%	28.8%	13.6%	9%	9%
Institución Universitaria donde labora	UD	UniSalle	ETITC					
	52.5%	15.8%	27.1%					
Dedicación en la Institución donde labora	Tiempo Completo	Medio Tiempo	Cátedra					
	45.8%	10.7%	39%					
No responden	4,50%							

Tabla 2. ¿Usa las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en su ejercicio como docente en la Universidad?

		Opciones		Total	
		Sí	No		
Género:	Femenino	Recuento	37	11	48
		% del total	21,9%	6,5%	28,4%
	Masculino	Recuento	95	26	121
		% del total	56,2%	15,4%	71,6%
Total		Recuento	132	37	169
		% del total	78,1%	21,9%	100,0%

6. RESULTADOS

Los datos que se obtuvieron se analizaron con una aproximación estadística puramente descriptiva, mediante el conteo de frecuencias absolutas y relativas [22] y [23].

6.1. Caracterización de la muestra

En la tabla 1 se pueden observar los datos generales de los docentes encuestados en esta fase diagnóstica.

La tabla 1 permite observar que los docentes que contestan el instrumento son mayores a 41 años, es decir el 62.7%; lo anterior nos permite verificar que no son "nativos digitales" [24]. Este es un alto porcentaje de "inmigrantes digitales", como lo indica Prensky: "se plantea un problema, una ruptura, un desfase, una brecha digital y generacional que no puede ser ignorada ni aceptada sin propósito firme de cambio para

intentar paliarla o solventarla: los Inmigrantes Digitales que se dedican a la enseñanza están empleando una lengua obsoleta [25]. Para el estudio este 62.7 % de docentes constituye una gran oportunidad de contar con participantes que muy posiblemente necesitan contar con una guía que oriente sus prácticas educativas mediadas por las TIC, tales como: tener claridad frente a la adecuación de aulas virtuales para acompañar sus prácticas presenciales; desarrollar objetos virtuales y recursos digitales de aprendizaje, que les permita potenciar la calidad de sus clases apalancadas en las nuevas tecnologías.

6.2. Uso de las TIC por parte de los docentes

En la tabla 2 se puede visualizar que más del 78,1 % de los docentes utiliza las TIC en sus prácticas educativas, y también que es mayor el uso por parte de los hombres. Esto confirma nuestra premisa inicial, a saber, que “las TIC ya están al interior del campo educativo”; en adelante no deberemos comprobar si los docentes están o no utilizando las TIC; el punto álgido es establecer cómo están siendo utilizadas desde la perspectiva pedagógica.

6.3. Frecuencia del uso de las TIC por parte de los docentes

Analicemos ahora la regularidad por parte de los docentes para hacer uso de las tecnologías; para esto consideraremos la tabla 3.

Tabla 3. Seleccione el recurso (TIC) que usted utiliza en sus prácticas docentes: (marque todas las opciones que considere y el grado de uso de dicho recurso).

	Sistemáticamente	Frecuentemente	Episódicamente	Nunca
Uso del blog en prácticas docentes	6.2%	15.3%	22.6%	30.5%
Uso del wiki en prácticas docentes	5.1%	8.5%	27.7%	33.3%
Uso del foro en prácticas docentes	12.4%	23.7%	18.6%	19.8%
Uso del sitio web en prácticas docentes	29.4%	26.6%	11.3%	7.3%
Uso de redes sociales en prácticas docentes	12.4%	11.9%	20.9%	29.5%
Uso del correo electrónico en prácticas docentes	50.3%	20.9%	2.8%	0.6%
Uso del chat académico en prácticas docentes	13.6%	18.6%	21.5%	20.9%

La tabla 3 corrobora lo que muestran otros estudios que han venido investigando la frecuencia con la que usan las TIC los docentes. Observamos que el correo electrónico es el recurso más usado: 50.3 % en forma sistemática. Madrid [4] encontró que el uso más recurrente es el correo electrónico: 75.6 %; en ese sentido, este mismo autor cita el estudio de Duart [26], quien encontró que los docentes usaban el correo electrónico en un 85.98 %. Observamos que a medida que el estudio se viene actualizando, el uso del correo electrónico viene bajando, dado que aparecen nuevos recursos, como sitios web, foros, redes sociales y chat, no con la misma intensidad que el correo electrónico, pero vienen ganando terreno. Por otro lado, es importante anotar que el 25.4 % de la muestra (45 docentes), no utilizan recurso alguno; en nuestra opinión esto se traduce en un alto analfabetismo digital y las razones deben investigarse.

6.4. Usos didácticos y pedagógicos por parte de los docentes

En la tabla 4 se observa que los docentes usan bastante las TIC en sus prácticas educativas; por excelencia hacen uso de procesadores de texto, el estudio demuestra que el 46,3% hace uso de ellos para la producción de material didáctico. Ahora bien, el hecho de que el 39% haga uso de software para realizar presentaciones indica que los docentes hacen uso de este recurso para

Tabla 4. De las siguientes opciones ¿cuáles utiliza para la creación y aplicación de material didáctico en su ejercicio como docente? (marque todas las opciones que considere y el grado de uso de dicha herramienta).

	Sistemáticamente	Frecuentemente	Episódicamente	Nunca
Uso de procesadores para la creación y aplicación de material didáctico	46.3%	22.6	3.4	2.3
Uso de software para realizar presentaciones para la creación y aplicación de material didáctico	39.0%	21.5%	9.6%	4.5%
Uso de hojas de cálculo para la creación y aplicación de material didáctico	32.2%	24.3%	12.4%	5.6%
Uso de Canales de video para la creación y aplicación de material didáctico	20.3%	15.3%	28.2%	10.7%
Uso de canales para colgar presentaciones y documentos para la creación y aplicación de material didáctico	25.4%	24.9%	13.0%	11.3%
Uso de software para simulaciones para la creación y aplicación de material didáctico	18.1%	20.3%	18.6%	17.5%
Uso de software de autor (ExeLearning, CourseLab, Reload Editor, entre otros.) para la creación y aplicación de material didáctico	10.7%	9.6%	14.7%	39.5%

acompañar sus enseñanzas al interior de los espacios educativos. En cuanto al 32,2% que usa hojas de cálculo, demuestra un buen porcentaje de docentes que sistematizan el proceso de calificaciones, pero permite también deducir que no se conoce por parte de los docentes el potencial que ofrecen las plataformas administradoras de aprendizajes Learning Management System (LMS, por sus siglas en inglés) para ayudarles en la gestión de actividades y recursos que se pueden automatizar y facilitar, de esta forma, el seguimiento de los estudiantes.

El estudio demuestra también el reiterado uso por parte de los docentes de canales en línea para colgar videos y/o presentaciones; este 45% muestra la importancia que se debe dar al trabajo audiovisual como estrategia de aprendizaje. Ahora bien, en cuanto al 39.5 % de la muestra que nunca utiliza herramientas de autor, indica que son muy pocos los docentes que han desarrollado de forma efectiva y cotidiana objetos virtuales de aprendizaje o recursos educativos digitalizados.

Tabla 5. De los siguientes recursos pedagógicos cuáles ha creado (marque todas las opciones que use en menor o mayor grado).

	Sí	No
Ha creado: adecuación de cursos en plataformas virtuales de aprendizajes (ej. para Moodle)	49,20%	25,40%
Ha creado: objetos virtuales de aprendizaje	41,80%	32,80%
Ha creado: objetos informativos	46,90%	27,70%
Ha creado: material digitalizado	66,10%	8,50%
Ha creado: aulas virtuales (ej. en Moodle)	53,10%	21,50%

Para analizar los resultados de la tabla 5, en relación con la creación de recursos didácticos, es importante unificar previamente lenguajes. Cuando se pregunta por adecuación de cursos en plataformas virtuales, se hace referencia a los distintos recursos y actividades que se coloca en alguna plataforma administradora de aprendizajes (LMS) como por ejemplo Moodle, por medio de parámetros didácticos, pedagógicos y técnicos. Al preguntar por la creación de objetos virtuales de aprendizaje se relacionan con un conjunto de recursos digitales, autocontenible y reutilizable, con un propósito

educativo y constituido por al menos tres componentes internos: contenidos, actividades de aprendizaje y elementos de contextualización [32]. Al preguntar por la creación de material digitalizado se señala toda producción de medios integrando texto, imagen, audio, animación, video, voz grabada y elementos de software para almacenarlos en computadores o llevarlos a Internet para ser leídos desde un computador o un dispositivo móvil. Los objetos informativos serán recursos digitalizados que solo ofrecen información. La creación de aulas virtuales hace referencia al uso de espacios en plataformas virtuales de aprendizaje creados no necesariamente por el docente que las usa para acompañar procesos educativos.

La tabla 5 corrobora lo que afirmábamos en la tabla 4 respecto al uso de los recursos usados por parte de los docentes para realizar material didáctico; efectivamente los docentes han creado material digital; el 66,1 % de la muestra es contundente al respecto. Pero también se observa una gran contradicción respecto a la respuesta encontrada en la tabla 4, en lo que atañe al uso de software de autor para la creación y aplicación de material didáctico; en ella se encontró que no sobrepasa el 21% los que hacen uso sistemática o frecuentemente de este software; en la tabla 5 el estudio muestra que el 41.8 % ha creado objetos virtuales de aprendizaje; la contradicción que resulta al cruzar estas dos tablas permite aseverar un desconocimiento enorme por parte de los docentes del verdadero significado de objeto virtual de aprendizaje.

La tabla 6 de nuevo confirma que los docentes utilizan, preferentemente, mediante las TIC material digitalizado. Por otro lado, un aspecto que cabe resaltar en este punto es el elevado uso que se realiza de aulas virtuales. Ya sea porque se crean cursos en ellas o porque se reciclan cursos que ya han sido adecuados con anterioridad, en este sentido, el 57.6 % de la muestra al indicar su uso nos invita a revisar los referentes desde el punto de vista

pedagógico y didáctico que siguen estos docentes a usar las aulas virtuales como estrategia educativa. Este porcentaje tan alto nos lleva a la pregunta: si los docentes utilizan habitualmente las aulas virtuales en sus prácticas educativas, ¿cómo lo hacen?

Tabla 6. De los siguientes recursos pedagógicos, ¿Cuáles ha utilizado? (marque todas las opciones que usted use en menor o mayor grado).

	Sí	No
Ha utilizado: repositorio de objetos virtuales de aprendizaje	39%	35,60%
Ha utilizado: cursos ofrecidos en plataformas virtuales de aprendizaje	58,20%	16,40%
Ha utilizado: objetos virtuales de aprendizaje	48%	26,60%
Ha utilizado: objetos informativos	48%	26%
Ha utilizado: material digitalizado	68,90%	5,60%
Ha utilizado: aulas virtuales	57,60%	16,90%
Ha utilizado: canales web para desarrollar videoconferencias	30,50%	44,10%

Tabla 7. Formación por cuenta propia en pedagogía y didáctica en la experiencia docente ¿Ha recibido formación o se ha preocupado en estudiar por cuenta propia en temáticas de pedagogía y didáctica a lo largo de su experiencia como docente universitario?

		Opciones		
		Sí	No	
Género:	Femenino	Recuento	35	2
		% del total	29,4%	15,4%
	Masculino	Recuento	84	11
		% del total	70,6%	84,6%
Total		Recuento	119	13
		% del total	67,2%	7,3%

En cuanto a la formación pedagógica de los informantes, en la tabla 7 se observa que el 67,2 % se preocupa por estudiar temáticas de pedagogía y didáctica. Para esta investigación, es clave este aspecto en la medida que en una fase posterior se analizará cómo manifiestan estos dos aspectos en el uso y en la apropiación de las TIC por parte de los docentes a fin de poder generalizar estrategias útiles para todos ellos.

Tabla 8. Manejo de referentes pedagógicos y didácticos en la experiencia docente. Al hacer uso de las TIC en su ejercicio como docente ¿tiene en cuenta algún referente pedagógico general o específico?

Opciones		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Sí	60	33,90%
	No	59	33,30%
	Total	119	67,20%
Perdidos	No responde	58	32,80%
Total		177	100%

Tabla 9. Al hacer uso de las TIC en su ejercicio como docente, ¿tiene en cuenta algún referente didáctico general o específico?

Opciones		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Sí	50	28,20%
	No	69	39,00%
	Total	119	67,20%
Perdidos	No responde	58	32,80%
Total		177	100%

En las tablas 8 y 9 se puede observar claramente un contraste interesante. Por un lado, decíamos que la mayoría de la muestra, un 67.2 % se preocupa por capacitarse en cuestiones de pedagogía y didáctica. Sin embargo, en estas dos tablas finales encontramos que un gran porcentaje (cerca al 36 % en promedio) no tiene en cuenta ningún referente pedagógico o didáctico concreto al insertar las TIC en su praxis como docentes; y lo anterior sin contar el 32,8 % (58 docentes) que no contestan a estas dos preguntas. Que el 33,9% de la muestra use algún referente pedagógico y que el 28,2% haga uso de algún referente didáctico al implementar las TIC en sus prácticas educativas, resulta algo bastante interesante, máxime si se trata de docentes no formados en sus carreras de base como pedagogos; pero la otra cara de la moneda nos pone en una situación bastante crítica si de plano analizamos que es un muy bajo porcentaje el que hace uso de

estos referentes. Lo anterior hace pertinente esta investigación, en la medida que este estudio se hace en la facultad de ingeniería; facultad donde los aspectos pedagógicos y/o didácticos no son precisamente objeto de estudio o política institucional; y sus conclusiones permitirán a los docentes de esta facultad, reorientar sus prácticas educativas cuando hagan uso de las TIC.

Tabla 10. Seleccione su profesión de formación base.

Profesión de Origen		Frecuencia	Porcentaje
Válidos	Administración	7	4%
	Antropología	2	1,13%
	Contaduría	1	0,56%
	Economía	4	2,26%
	Física	10	5,65%
	Geografía	1	0,57%
	Historia	1	0,57%
	Ingeniería	96	54,20%
	Licenciatura (C. Educación)	15	8,47%
	Matemáticas	12	6,78%
	Medicina	2	1,13%
	Química	8	4,52%
	Sociología	1	0,57%
Otra	6	3,39%	
Total	166	93,80%	
Perdidos	No responde	11	6,21%
Total		177	100%

La tabla 10 permite visualizar que solo un 8.47 % de docentes son licenciados, es decir educadores de carrera; aquellos docentes que en su profesión de origen sí han cursado asignaturas de didáctica y pedagogía. Para esta tesis, como correlato a lo que se ha venido analizando en los epígrafes anteriores, el diagnóstico presente indica nuevamente que esta investigación se hace fundamental, dado que esta podría contribuir a aquellos docentes que no han tenido algún acercamiento formal con las distintas teorías pedagógicas en realizar sus prácticas educativas mediadas por la TIC, bajo unos referentes pedagógicos que permitan un uso más adecuado y productivo en términos de aprendizaje de estos recursos.

6.5. La experiencia de los docentes utilizando las TIC

Una de las preguntas que se le hicieron a los docentes indicaba lo siguiente: “Describe brevemente la experiencia que ha tenido como docente en educación superior, haciendo uso de las TIC al interior de sus prácticas educativas”. En esta pregunta abierta, de corte más cualitativo, se encontró una gran cantidad de variadas respuestas, de las cuales hemos rescatado algunas, que en nuestra opinión permiten observar el sentir de los docentes en el uso de las TIC, al integrarlas en sus prácticas educativas. Esta es la opinión de algunos de los docentes:

- “La experiencia es positiva ya que la velocidad al transmitir el conocimiento y su efectividad es superior al uso de los medios tradicionales” [Informante 2014:1].
- “Es asertiva para los estudiantes pero demanda mucho tiempo para los profesores y esta parte es invisible para las directivas. Por tanto no hay estímulos. Máxime cuando se es de cátedra” [Informante 2014:2].
- “Permite mayor interacción y que el estudiante tenga material de apoyo apropiado y actualizado” [Informante 2014:3].
- “Excelente servicio en cuanto a manejo de clases en forma asincrónica y elimina la presencialidad estudiante y profesor, amplía la materia, profundiza, independiza y responsabiliza más al estudiante con su formación y al docente con su actualización” [Informante 2014:4].
- “Es el medio por el cual se llega de manera más rápida al contacto y conocimiento de un evento investigativo o de consulta. A través de este medio se toma el mundo en una pantalla en la cual se encuentra toda clase de información que llega de manera inmediata a los interesados, con retroalimentación también inmediata” [Informante 2014:8].
- “Las TIC, además de facilitar la labor del docente, facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje, porque, entre otras cosas, motiva a los estudiantes y permiten una clara disminución del tiempo en la obtención de inputs para análisis” [Informante 2014:107].
- “Desde la integración de videos hasta el uso de herramientas colaborativas han permitido que el estudiante pueda articular diferentes fuentes de conocimiento, y de allí, procurar el fortalecimiento de sus competencias profesionales e integradoras” [Informante 2014:10].
- “Es una forma más rápida y eficiente de enseñar y aprender, aunque se requiere un tiempo importante en la preparación y diseño de cursos virtuales por ejemplo, ese tiempo se recupera posteriormente puesto que solo se prepara una primera vez y luego solo se actualiza, siendo más práctico y eficiente para trabajar en línea y en grupos grandes” [Informante 2014:14].
- “Las TIC son una herramienta que facilita el proceso de aprendizaje, pues ayuda a cimentar los conceptos dictados en clase y provee medios alternativos para que los diferentes tipos de estudiantes puedan abstraer los conceptos de una manera integral” [Informante 2014:22].
- “En general, la experiencia ha sido muy favorable en términos de ubicuidad: los estudiantes pueden realizar labores o revisiones, repasos o consultas en sus espacios disponibles, facilitando además el aprendizaje de acuerdo a su propio ritmo” [Informante 2014:154].
- “El uso de las tecnologías en el ambiente educativo facilita la apropiación del conocimiento; los estudiantes se encuentran más dispuestos cuando tienen que usar las TIC” [Informante 2014:43].

Estas once opiniones que se han rescatado de entre muchas permiten observar la importancia que perciben los docentes de la facultad de ingeniería frente al uso de las TIC en sus prácticas educativas. Los docentes usan las TIC, pero los resultados

encontrados en el instrumento, como se ha mencionado anteriormente, permiten mostrar la necesidad de dar luces a los docentes de esta facultad en su adecuado uso desde el punto de vista pedagógico y didáctico. Si se logra que los docentes puedan combinar los aspectos técnico, pedagógico y didáctico, sin duda que los procesos educativos serían de mayor calidad.

7. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

La muestra que se ha tomado para este estudio conformada por 177 docentes constituye una muestra confiable como lo demuestra el valor obtenido en el coeficiente Alfa de Cronbach; lo anterior permite asegurar la validez de los resultados y afirmaciones que aquí se han indicado. Se destaca el deseo por participar en esta investigación por parte de los docentes pertenecientes a las tres universidades tomadas como muestra, considerando la Universidad Distrital con un 52.5 % la institución con el mayor deseo de este estudio, dado que los trabajos previos que se tienen en esta línea en dicha universidad han sido pocos y los docentes ven como muy buenos ojos esta oportunidad para orientar sus procesos frente al uso y apropiación de las TIC.

En este sentido, podemos certificar contundentemente un uso constante y habitual de las TIC por parte de los docentes de ingeniería en sus prácticas educativas (con un alto porcentaje equivalente al 78.1 %). Sin embargo, otros datos no nos dejan ser tan optimistas; dado que el 66,1% de la muestra no responde o marca un rotundo no frente al interrogante del tener en cuenta algún referente pedagógico, y de forma similar que un 71,8% marque en forma negativa o no responda respecto al interrogante de tener en cuenta algún referente didáctico al hacer uso de las TIC, es algo que abre un debate bastante interesante y da una enorme posibilidad a esta investigación para establecer las causas que llevan a esta situación y las consecuencias que sin duda alguna impactan directa o indirectamente,

los distintos procesos educativos orientados por los docentes. De igual forma corresponde ahora profundizar acerca de los aspectos pedagógicos y didácticos que toman como referencia el grupo de docentes (31.05% en promedio) que afirman el uso de referentes en dichos aspectos, al involucrar las TIC en sus prácticas educativas.

Los resultados obtenidos indican que la herramienta más utilizada por parte de los docentes para interactuar con sus estudiantes mediante el uso de las TIC es el correo electrónico; el 74 % de la muestra hace referencia al uso de esta herramienta, en menor o mayor grado en su prácticas docentes; se destaca también el alto porcentaje (entre el 40 % y el 50 % en promedio) el uso de otras herramientas como son los blogs, las wikis, los foros, los sitios web, las redes sociales o el chat. Lo anterior permite interpretar el deseo de los docentes de ir más allá frente al uso de las tecnologías.

De igual forma, los docentes se caracterizan por sus altos desempeños en la creación de material didáctico para sus clases mediante el uso de procesadores de texto, software para presentaciones, hojas de cálculo (en promedio, un 60 %); por su parte, presentan un desempeño medio en canales de vídeo, sitios en línea para compartir documentos, software para simulaciones (en promedio, un 50 %); y, finalmente, un más bajo desempeño en el uso de software de autor para hacer material digitalizado (en promedio, un 35 %). Lo anterior permite confirmar el alto uso de gestores de documentos por parte de los docentes y la incursión tímida aún en nuevos campos para crear material didáctico; es posible que esto se deba a la falsa concepción de complejidad por parte de los docentes en el uso de otras alternativas. Este mismo fenómeno ocurre con el uso y apropiación de herramientas como aulas virtuales, objetos virtuales de aprendizaje, repositorios de contenidos educativos, canales de videoconferencias; en promedio el uso se da entre un 30 y un 50 %, lo cual confirma la timidez con la que

los docentes incursionan en estos campos. Quizá si tuvieran una guía que les permita apropiarse de ellos lograríamos porcentajes más alto de uso.

Por último, aunque un alto porcentaje (67.2 %) de docentes indica que han recibido o se han preocupado por documentarse y apropiarse en temáticas de pedagogía y didáctica, solo un 33.9% tienen en consideración de modo consciente los aspectos pedagógicos al incorporar las TIC en sus prácticas docentes, y solo un 28.2 % tienen en cuenta los aspectos didácticos; esto es algo contradictorio y nos permite confirmar que los docentes, si bien están usando las TIC en sus prácticas educativas, no siguen algún referente pedagógico o didáctico claro que asegure la calidad de estas actividades.

8. CONCLUSIONES

Las TIC han generado efectos que se exponen de forma muy relevante en las profesiones y por ende en la educación, donde todo debe ser validado: desde la argumentación de las instituciones educativas, hasta la formación básica que requerimos los seres humanos, los procesos de enseñanza y aprendizaje, las infraestructuras y los medios que utilizamos para tal fin, la estructura organizativa de las instituciones y su cultura.

El desarrollo de las TIC reta los modelos educativos tradicionales, y sobre todo exige un cambio en los paradigmas fundamentales de la educación: ¿qué enseñar? y ¿cómo enseñar? Este reto se ha convertido en el eje de la reflexión académica, que ha impulsado la formulación de los nuevos paradigmas educativos que hoy día la universidad intenta materializar. La idea del docente poseedor enciclopédico del conocimiento contraviene los principios de la posmodernidad. La información está a un clic de distancia, las competencias digitales son tan comunes que ya se consideran innatas. En esta medida, el reto de la educación superior, más que de otros niveles educativos, está en el desarrollo de las

habilidades fundamentales referentes a la búsqueda, selección y uso de esta información, además del desarrollo potencial de convertirla en conocimiento utilizable y aplicado; por tal motivo ahora se imponen las TICC (Tecnologías de la Información, de la Comunicación y del Conocimiento).

Es cierto que las TIC ya hacen parte de los espacios educativos; es verdad que los docentes hacen uso de los recursos y actividades virtuales en la búsqueda de dar mayor calidad a sus clases presenciales [27]; pero queda demostrado en esta fase diagnóstica que los docentes de las facultades de ingeniería, considerados en la muestra, no tienen claridad de los aspectos pedagógicos y didácticos que deben orientar dichos procesos educativos mediados por las TIC.

Lo anterior le permite a esta investigación convertirse en una necesidad imperiosa y cobrar un gran protagonismo, dado que los docentes de la facultad de ingeniería y por este mismo estudio los docentes de otras facultades necesitan una guía que les permita hacer uso y apropiación de las TIC bajo parámetros didácticos y pedagógicos bien definidos.

9. REFERENCIAS

- [1] C. Pérez, "Technological revolutions and techno-economic paradigms". *Technology Governance. Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics*, vol. 20, pp. 1-26, 2009.
- [2] UNESCO, *Uso de TIC en educación en América Latina y el Caribe Análisis regional de la integración de las TIC en la educación y de la aptitud digital (e-readiness)*. Montréal, Instituto de Estadística de la UNESCO, 2013.
- [3] S. Guerra, S. González y R. García "Utilización de las TIC por el profesorado universitario como recurso didáctico". *Comunicar. Revista Científica de Educomunicación*, no. 35, pp. 141-148, 2010.

- [4] M. Madrid, "Impacto de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el docente universitario. El caso de la Universidad de Guadalajara". *Perspectiva Educacional. Tecnologías Digitales y Ambientes de Aprendizaje*, vol. 52, no. 2, pp. 4-34, 2013.
- [5] C. Castañeda, M. Pimienta y P. Jaramillo. RIBIE-Col. 2008, [en línea]. Consultado en julio 15 de 2014, disponible en: <http://goo.gl/2WUjTk>
- [6] D. Rendón y M. Toro, Las prácticas educativas con apoyo de TIC en la educación superior. Estudio de caso en la Universidad Tecnológica de Pereira. Marzo de 2012, [en línea]. Consultado en agosto 10 de 2014, disponible en: <http://goo.gl/VUC9dT>
- [7] E. Fariña, C. González y M. Area, "¿Qué uso hacen de las aulas virtuales los docentes universitarios? RED". *Revista de Educación a Distancia*, no. 35, pp. 1-13, 2013.
- [8] J. Cabero, "Incidentes críticos para la incorporación de las TICs a la Universidad", 24-28 de noviembre de 2003. *EduTec*, 2003, [en línea]. Consultado en agosto 27 de 2014 disponible en: http://tecnologiaedu.us.es/cuestionario/bibliovir/281103_1.pdf
- [9] Grupo Virtus, "Evaluación de la educación virtual en la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central". *Letras con Ciencia Tecnológica. Revista de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central*, no. 8, pp. 66-77, 2010.
- [10] Grupo Virtus, "Experiencias preliminares del uso de herramientas virtuales de aprendizaje en la formación técnica y tecnológica presencial". *Letras con Ciencia Tecnológica. Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central*, no. 3, pp.56-73, 2007.
- [11] M. Rivas, "¿Es necesaria la formación técnica y didáctica sobre tecnologías de la información y la comunicación? Argumentos del profesorado de la Universidad de Vigo". *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, no. 24, pp. 43-58, julio, 2004,
- [12] A. García, *Disertaciones*. Agosto de 2011, [en línea], consultado en julio 19 de 2014, disponible en: <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/Disertaciones/article/view/2680>
- [13] UNESCO, *Estándares de Competencias en TIC para Docentes*. Enero de 2008, [en línea]. Consultado en agosto 25 de 2014, disponible en: <http://www.eduteka.org/pdfdir/UNESCOEstandaresDocentes.pdf>
- [14] UNESCO, *Medición de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en educación: manual del usuario*. Paris, UNESCO, Institute for Statistics, 2009.
- [15] UNESCO, *La visión de UNESCO sobre el rol de las TIC en educación. En UNESCO, educación de calidad en la era digital. Una oportunidad de cooperación para UNESCO en América Latina y el Caribe*. Buenos Aires, Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe (OREALC/UNESCO Santiago), pp. 19-23, 2011.
- [16] MEN, *Apropiación de TIC en el desarrollo profesional docente*. Febrero de 2008, [en línea]. Consultado en julio 21 de 2014, disponible en: <http://goo.gl/tUP20j>
- [17] MEN, *Plan Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones 2008-2019*. Marzo de 2008, [en línea]. Consultado en julio 27 de 2014, disponible en: <http://www.eduteka.org/pdfdir/ColombiaPlanNacional-TIC.pdf>
- [18] MEN, *Ruta de apropiación de TIC en el desarrollo profesional docente*. Marzo de 2008, [en línea]. Consultado en agosto 15 de 2014, disponible en: <http://goo.gl/WwRnMy>
- [19] Grupo Virtus, "Impacto de las herramientas virtuales en la educación técnica y tecnológica en la Escuela Tecnológica ITC". *Letras con Ciencia Tecnológica. Revista de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central*, no. 6, pp. 50-65, 2008.
- [20] D. George, & P. Mallery, *SPSS/PC+ step by step: A simple guide and reference*. Belmont, Wadsworth Publishing Company, 1995.

- [21] M. Vivanco, *Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones*. Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 2005.
- [22] R. Sampieri, C. Callado y P. Lucio, *Metodología de la Investigación*. Quinta Edición. México, McGRAW-HILL, 2010.
- [23] R. Landero y M. González, *Estadística con SPSS y metodología de la investigación*, México, Trillas, 2006.
- [24] M. Prensky, "Digital Natives, Digital Immigrants". *On the Horizon*, vol. 9, no. 5, pp. 1-6. Octubre de 2001 [en línea], consultado en agosto 17 de 2014, disponible en: <http://go.gl/4oYb>
- [25] M. Prensky, "Nativos e Inmigrantes Digitales". *Cuadernos SEK 2.0*, pp. 5-20, 2010.
- [26] J. Duart, M. Gil, M. Pujo y J. Castaño, *La universidad en la sociedad de la red. Usos de Internet en Educación Superior*, Barcelona, UOC, 2008.
- [27] S. Guerra, S. González y R. García "Utilización de las TIC por el profesorado universitario como recurso didáctico". *Comunicar. Revista Científica de Educomunicación*, no. 35, pp. 141-148, 2010.
- [28] PlanESTIC. S.f. [en línea] . Consultado en julio 7 de 2014 disponible en: <http://comunidadplanestic.uniandes.edu.co/AcercadePlanEsTIC.aspx>
- [29] La Salle HumanÍSTiCa. S.f. [en línea]. Consultado el 7 de julio de 2014, disponible en: http://www.lasalle.edu.co/wps/portal/Home/Profesores/la_salle_humanistica/la_salle_humanistica
- [30] Proyecto Fortalecimiento de ITT, 2010, Ministerio de Educación Nacional.
- [31] Colombia Aprende, S.f., [en línea]. Consultado el 20 de octubre de 2014, disponible en: <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/directivos/1598/article-172369.html>
- [32] Colombia Aprende, S.f., [en línea]. Consultado el 2 de noviembre de 2014, disponible en: <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/directivos/1598/article-172369.html>



Sistemas Tutores Inteligentes como apoyo en el proceso de aprendizaje

Intelligent System Tutors as Support in the Learning Process

Yilver Estiven Molina Hurtatiz¹ Yois Pascuas Rengifo² Edwin Eduardo Millán Rojas³

Para citar este artículo: Molina, Y., Pascuas, Y. y Millán, E. (2015). Sistemas Tutores Inteligentes como apoyo en el proceso de aprendizaje. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 25-44.

Recibido: 09-marzo-2015 / **Aprobado:** 29-mayo-2015

Resumen

En los procesos de enseñanza-aprendizaje surgen diversos problemas en cuanto al entendimiento y la comprensión del conocimiento. Estas dificultades radican principalmente en que todas las personas tienen un estilo de aprendizaje diferente y los métodos clásicos de enseñanza no cubren sus necesidades particulares. El desarrollo de la tecnología ha impulsado la creación de herramientas que brindan una solución eficiente a dicha problemática: los Sistemas Tutores Inteligentes (STI). El objetivo principal de este artículo es la identificación de las principales características de estos tutores, haciendo énfasis en los beneficios que ofrece como apoyo en los procesos de enseñanza-aprendizaje en el contexto educativo. El método utilizado es el descriptivo y sistémico, el cual permite recopilar los datos necesarios. La investigación permitió reunir los aspectos más relevantes de los STI y presentarlos como una herramienta óptima para llevar a cabo un proceso de aprendizaje.

Palabras clave: aplicaciones inteligentes, estrategias pedagógicas, Inteligencia Artificial (IA), módulos, conocimiento.

Abstract

In the teaching and learning processes various problems arise as to the understanding and comprehension of knowledge. These difficulties are mainly in which everyone has a different way of learning and classic teaching methods do not meet your particular needs. The development of technology has led to the creation of tools that provides an efficient solution to this problem: Intelligent Tutoring Systems (ITS). The main objective of this article is to identify the main features of these tutors, emphasizing the benefits and support in the teaching-learning in the educational context. The method used is the descriptive and systemic, which allows you to collect the necessary data. The research brought together the most important aspects of ITS and present them as an excellent tool to perform a learning process.

Keywords: intelligent applications, teaching strategies, Artificial Intelligence (IA), modules, knowledge.

1. Estudiante de VII semestre de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de la Amazonia. Florencia Caquetá, Colombia. yi.molina@udla.edu.co
2. Ingeniera de sistemas, magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, estudiante de Doctorado en Educación y Cultura Ambiental. Actualmente es docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Amazonia. Florencia Caquetá, Colombia. y.pascuas@udla.edu.co
3. Ingeniero de sistemas, magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, candidato a Doctor en Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Actualmente es docente de carrera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Amazonia. Florencia Caquetá, Colombia. e.millan@udla.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Tutores Inteligentes (STI) son de gran importancia en el apoyo hacia un proceso de aprendizaje óptimo y en labores de toma de decisiones. Conocer, identificar y enmarcar sus características en un contexto educativo, colaborativo y de aprendizaje resulta fundamental para establecer un punto de partida hacia la investigación en este campo, donde se tiene como propósito encontrar o ir en la búsqueda de focos de aplicación en la enseñanza de diferentes disciplinas.

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo tiene por objetivo general la identificación de las principales características de los tutores inteligentes y la forma como a partir de su origen y evolución se pueden ofrecer elementos para la formulación de nuevos proyectos de investigación, relacionados con la educación y el uso de los tutores.

Resulta necesario destacar que la educación es un activo valioso que se apoya frecuentemente en los desarrollos tecnológicos para abordar los diferentes procesos de enseñanza y aprendizaje. En [1] se hace alusión a los STI como aquellos encargados de interactuar con el estudiante para adaptarse a sus características cognitivas y generar estrategias a su medida. Por esta razón, el tutor debe mantener actualizada la información referente a cada estudiante por separado, a través de pruebas que valoren su evolución en un determinado tema.

En este artículo se muestran los STI como herramienta de la Inteligencia Artificial (IA), destacando sus antecedentes y la forma como empezaron a impactar los procesos de aprendizaje.

En la sección II se describe el proceso de enseñanza-aprendizaje y la importancia de la tecnología como medio diferenciador en la interacción maestro-alumno.

En la sección III, desde una perspectiva técnica, se darán a conocer los antecedentes y la arquitectura de un STI haciendo énfasis en sus componentes o módulos para lograr un mayor entendimiento de los mismos y el modo como estos inciden en el objetivo final que es la mejora del aprendizaje; para ello es importante el conocimiento de la planificación instruccional dentro del contexto de la IA hacia la consecución de los objetivos de aprendizaje.

También en ella se hablará de las debilidades de los STI, algunas plataformas o proyectos y métodos o herramientas que pueden abordarse para el diseño de los STI.

Así, es de gran relevancia reconocer que actualmente la educación se centra en el entendimiento de grandes cantidades de información sin hacer mucho énfasis en su aplicación a la realidad. Por ello, se ha hecho visible la necesidad de una educación activa, participativa y creativa, que permita a los estudiantes avanzar en sus procesos académicos de manera notoria.

2. EL CONTEXTO DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE

El ser humano se caracteriza por su inteligencia y habilidad para innovar permanentemente y solucionar sus propios problemas. A lo largo de la historia se han venido experimentando cambios en la sociedad, los cuales obedecen a la creatividad de las personas, quienes en su afán por explorar y generar nuevo conocimiento avanzan en el descubrimiento e implementación de diversos mecanismos que facilitan su vida.

Cada uno de los aportes del hombre a la sociedad hace parte de los elementos que conforman un proceso de aprendizaje, en el cual intervienen una serie de variables importantes para cumplir un

objetivo. Tales variables son aquellas que se han tenido en cuenta siempre en el momento de crear una solución innovadora que incremente la eficiencia de cualquier proceso que se lleve a cabo.

En este orden de ideas, es necesario resaltar que el hombre desde que nace hasta que culmina su ciclo de vida está en continua producción de conocimiento, a través de los diversos procesos de enseñanza y aprendizaje a los cuales se enfrenta. Todos los días se experimentan nuevas necesidades que lo motivan a la investigación y a la exploración del mundo real, a fin de dar respuesta a diferentes interrogantes planteados.

Antiguamente la realización de dichos procesos presentaba muchas limitaciones, en cuanto no se contemplaba, tal vez, cada una de las características de quienes intervenían en ellos, de igual forma los métodos empleados no eran lo suficientemente óptimos. Sin embargo, es admirable el trabajo desarrollado por los antiguos hombres, quienes plantearon las diversas teorías sobre las cuales gira el mundo actualmente.

Pero gracias al talento del ser humano, la tecnología ha evolucionado de manera tal que ofrece muchos beneficios en cualquier entorno en donde se aplique. El campo educativo ha sido fuertemente permeado por la tecnología, con el propósito de que la sociedad en general se pueda vincular a este y se avance cada día de manera positiva.

Las herramientas tecnológicas actuales tienen en cuenta las características cognitivas de las personas y, sobre su base, brindan los elementos adecuados para llevar a cabo un proceso de enseñanza y aprendizaje, en el cual intervienen cuatro elementos claves: el alumno, el docente, la información y el medio que rodea al alumno [2].

Al destacar el énfasis especial de las herramientas que han apoyado el proceso de enseñanza y aprendizaje

de las personas, a los alumnos les resulta muy motivante relacionarse desde temprana edad con el manejo de la tecnología; se considera que dedican mayor tiempo a actividades que utilizan el computador con la única recompensa de utilizarlos. Actualmente la interacción con máquinas inteligentes se ha sumado a la actividad diaria de los alumnos en el salón de clase, dando paso a herramientas como los STI, caracterizados por promover una respuesta activa en el alumno, verificar el desempeño, permitir un aprendizaje autónomo de manera eficiente y eficaz. Según lo planteado en [2], los STI al igual que el maestro plantean interrogantes como: ¿qué enseñar?, ¿cuándo enseñar? y ¿cómo enseñar?

2.1. Metodologías de enseñanza

A raíz de los interrogantes planteados anteriormente, se dice que en todo proceso de enseñanza-aprendizaje es necesaria la implementación de diversas metodologías de enseñanza, a fin de garantizar la evolución del estudiante en la medida en que experimenta diferentes contextos y se adapta a los ambientes generados. El conocimiento se construye en la medida en que se motiva al estudiante de diversas formas, para que se involucre en procesos de estudio con objetivos previamente definidos y encaminados a la solución o explicación de una determinada situación.

Con el apoyo tecnológico actual, los estudiantes se interesan en aprender temas de interés que aportan al desarrollo en diversas áreas, proceso que requiere en la mayoría de los casos del seguimiento por parte de un tutor, el cual se enfrenta a la elección de la metodología adecuada.

En este orden de ideas, es importante plantear que la forma concreta de enseñar se establece a través del uso de una metodología, además del camino que se debe seguir y de las herramientas que faciliten al estudiante los contenidos y procedimientos requeridos para cumplir los objetivos propuestos

en cualquier proceso educativo. Dichos elementos hacen más eficiente el proceso de aprendizaje, en cuanto se brindan las posibilidades a los estudiantes para explorar y contrastar en diversos contextos. Si en un proceso de enseñanza-aprendizaje el docente no implementa una metodología de enseñanza, los objetivos no estarían debidamente definidos y, por ende, tampoco las etapas a seguir, en las cuales se espera el compromiso por parte del estudiante en lo que atañe a la ejecución de sus tareas.

Surge el siguiente interrogante: ¿en el momento de emplear una metodología de enseñanza, qué variables se deben tener en cuenta para su elección? Según lo propuesto en [3], la elección de una metodología depende de diversos factores:

- El *proceso de modelado*, que consiste en la experiencia previa del docente al observar las prácticas de enseñanza de los demás, es decir, basado en un modelo de enseñanza de otra persona. En este caso el docente toma como referencia el modo en que otras personas han logrado afrontar una situación para implementarlo con sus estudiantes.
- *Concepciones propias*. Algunos docentes suponen que el estilo de enseñanza o aprender se limita a la transmisión de conceptos. Otros docentes se encargan de apoyar a los alumnos para que interroguen sobre un conocimiento previo y se descubra más allá.
- Los *objetivos de enseñanza* también varían dependiendo del profesor, pues algunos desean que el alumno piense e interactúe de manera activa con preguntas y formulación de problemas, y otros que simplemente se limitan a que el alumno reproduzca literalmente los textos.
- La metodología también depende del alumno (edad, intereses, nivel de conocimiento) y del contenido, pues existen diferencias entre lo práctico y lo teórico.
- Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se logra clasificar las metodologías de

enseñanza dependiendo del grado de protagonismo del docente y el alumno, según [3]: *Metodología expositiva*. Los alumnos se limitan a recibir contenidos expuestos mediante ejemplos y esquemas que expresan ideas claras, lo cual indica que la información no ha sido adquirida por medio de la experiencia.

- *Metodología interactiva*. Esta consiste en la profundización de un tema mediante el diálogo entre docente y alumnos. Se mantiene un ambiente participativo, de valoración de puntos de vista, de formulación de nuevos interrogantes y de sistematización de la nueva información.
- *Metodología de descubrimiento*. En esta metodología el conocimiento se adquiere mediante la experiencia del alumno. Existe el caso en que el estudiante toma los contenidos brindados por el docente y los reproduce mediante la práctica, y el caso en el cual se potencia el pensamiento productivo (el estudiante por sí solo). Un ejemplo de este último es el estudio de territorios, elaboración de obras de arte, investigaciones, entre otros.

La implementación de las anteriores metodologías de enseñanza abre paso a la creación de diversos ambientes de aprendizaje, los cuales han recibido cambios en los últimos años. Actualmente, no se concibe solamente el aprendizaje de manera presencial sino que, con los avances tecnológicos, han surgido otros ambientes que facilitan el desarrollo de enseñanza-aprendizaje. Los diversos procesos *e-learning* (aprendizaje electrónico), son el ejemplo claro para demostrar que el estudiante puede acceder a contenidos e interactuar con otras personas para generar conocimiento. Para esto, se debe pensar en la implementación de una metodología que garantice el aprendizaje del estudiante, empleando herramientas tecnológicas y digitales, es decir, construir un contenido curricular manejado con métodos adaptables a las necesidades del alumno.

Estos elementos que componen el ambiente de aprendizaje, junto al equipamiento e influenciado por los factores sociales permiten la interactividad, la comunicación y el trabajo en equipo, que conllevan a la ejecución de las actividades planeadas en todo el proceso, según la descripción presentada en [4].

Así, la creación de ambientes de aprendizaje toma relevancia a medida que el uso de la tecnología permea en los entornos educativos, teniendo en cuenta lo expuesto en [4], con la tecnología se evidencia la participación de los actores de la educación en una forma más activa e interactiva. En estos contextos, se pueden apreciar otros métodos de enseñanza:

- *Estudio de casos.* Según [5], un caso es aquella situación o entidad social única que merece interés de investigación. En el contexto educativo, un aula, un alumno o un programa de enseñanza pueden considerarse ejemplos de ello. Un caso plantea una situación-problema que se expone al alumno para que este desarrolle propuestas conducentes a su análisis o solución [6].
- *Aprendizaje Basado en Problemas (ABP).* Según [6], el ABP es una estrategia pedagógica que permite resolver problemas reales en un determinado tiempo a través de la práctica y la investigación. En esta metodología de enseñanza el estudiante toma el rol de solucionador del problema y el docente como su tutor.

Con el ABP los estudiantes trabajan de manera cooperativa, seleccionan adecuadamente la información proveniente de diversas fuentes, y con la ayuda del tutor comprenden el entorno, formulan hipótesis y las comprueban mediante la experiencia. Es importante resaltar que el estudiante desarrolla su habilidad para analizar y enfrentar problemas abiertos (con alto grado de complejidad), como por ejemplo en la medicina, para explicar el origen de

alguna enfermedad, posibles causas genéticas en una persona, entre otros casos.

La diferencia del ABP con respecto al método anterior consiste en que en este no se requiere de conocimientos previos, pues los alumnos tienen que ampliar esa información, según lo planteado en [7]. Para ilustrar este caso con mayor claridad se propone una situación en la cual un grupo de estudiantes reciben un problema formulado por su docente. En ese momento los estudiantes identifican qué saben acerca del tema y se asignan roles entre sí para cubrir los puntos que faltan por investigar. Luego, cada estudiante expone sus hallazgos sobre el tema y los comparten al tutor, el cual realiza la respectiva retroalimentación hasta encontrar una estrategia de solución.

- *Aprendizaje Orientado a Proyectos (AOP).* Se conoce como un método de aprendizaje activo, que según lo descrito en [8] consiste en la integración de personas con perfiles diferentes, que trabajan juntos y de manera autónoma para realizar proyectos hacia la solución de problemas reales sobre la base de un plan. Este método de enseñanza surge a raíz de la necesidad de exploración, por parte de los estudiantes, más que la memorización de los conceptos dados por el docente. Según [8], la idea fundamental del AOP es el diseño de un plan de acción en el que se identifique el ¿qué?, ¿con quién?, ¿para qué?, ¿cómo?, ¿cuánto?, factores de riesgo, entre otras variables que inciden en la situación definida y que los resultados obtenidos permitan la elección de la solución.

Con lo descrito anteriormente se puede apreciar la relación que existe entre el ABP y el AOP. No obstante, a pesar de que el objetivo de ambos métodos de enseñanza es indagar a fondo sobre un problema y proponer la solución al mismo, según [57], aunque parezcan similares, difieren en los procesos que siguen y en el producto final. En el AOP

el análisis del sistema se puede hacer de manera individual o en grupo, el estudiante indaga por sí solo, el profesor supervisa el plan de trabajo y evalúa, y el producto final consta de un proyecto con todas las fases propuestas.

Otros métodos de enseñanza frecuentemente usados son los foros de discusión, el manejo de paquetes estadísticos y la elaboración de mapas conceptuales [9].

Los STI juegan un papel importante como apoyo en la implementación de estos métodos de enseñanza, en cuanto al seguimiento y atención personalizada requerida para los estudiantes integrados en un proceso de aprendizaje. Tal es el caso de COMET, un sistema tutor inteligente colaborativo para ABP en medicina, en el cual se hace uso de redes bayesianas (encargadas de estimar probabilidades) para modelar el conocimiento y actividades de los estudiantes en forma individual y en grupo. En [10] se dice que el sistema le permite al estudiante diseñar imágenes y conceptos médicos, así como establecer hipótesis.

De esta manera, los STI en la actualidad se emplean como apoyo a los diversos métodos de enseñanza, con el objetivo de que el alumno adquiera con mayor facilidad los contenidos sobre diversos temas.

2.2. Estilos de aprendizaje

En [9] se explica que los alumnos deben “aprender a aprender” y consideran que “los profesores deben reconocer las diferencias individuales de sus alumnos para personalizar su educación, tratando de que sus preferencias en cuanto a los Estilos de Enseñanza no influyan en los Estilos de Aprendizaje de los Alumnos”.

En [11] se describen los siguientes estilos de aprendizaje.

Según los sentidos:

- *Visual*. Leer o ver la información mediante textos, mapas, dibujos, gráficos.
- *Auditivo*. Aprender a través de información oral (diálogos).
- *Táctil o kinestésico*. El aprendizaje se logra haciendo cosas e interactuando directamente con ellas. Ej.: trabajos de campo, bailar.

Según la dimensión social:

- *Activo*. Los estudiantes se implican activamente en las tareas, son abiertos, improvisadores y espontáneos y no les importa correr riesgos o cometer errores.
- *Reflexivo*. Observar asuntos desde diferentes puntos de vista y reflexionar sobre ellos.
- *Teórico*. Alumnos con sentido crítico, metódicos y disciplinados, que suelen enfocar los problemas desde un punto de vista lógico.
- *Pragmático*. Experimentación con cuestiones prácticas y que tengan alguna aplicación inmediata.

Partiendo del hecho de que el éxito en el aprendizaje se basa en la capacidad para ajustar a cada uno de los alumnos su propia forma de aprender, los STI implementan algoritmos que cumplen con este paradigma.

Un ejemplo del caso anterior es el proyecto desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, que consiste en la implementación de un sistema tutor inteligente que define un método de enseñanza de acuerdo a los estilos de aprendizaje de ingeniería informática en la asignatura Algoritmos y Programación. Sabiendo que un mismo problema de algoritmos puede admitir soluciones válidas a través de diferentes estructuras, el STI debe adaptarse a la solución del estudiante y mostrar las pistas adecuadas en caso de que la respuesta sea incorrecta, como se da a conocer en [12].

En [13] se dice que en muchos casos los estudiantes se detienen frente a un problema y no saben cómo proseguir, requiriendo en este momento la intervención del STI para que lo guíe. El tutor debe controlar que no baste con que la respuesta del estudiante sea parcial o aproximada, sino correcta y, además, debe estar en la capacidad de explicar al estudiante un concepto de diferentes maneras (por ejemplo, mediante el uso de redes neuronales).

Los STI implementan redes neuronales para asimilar conocimiento con base en las experiencias mediante la generalización de casos, redes bayesianas orientadas a la inferencia probabilística (en el caso de definir la estrategia de enseñanza adecuada de acuerdo al estilo de aprendizaje), minería de datos para descubrir y detallar patrones presentes en los datos con el fin de clasificar los tipos de estudiantes, algoritmos genéticos para la evaluación de los problemas presentados, entre otros métodos mencionados en [14].

También en [14] se expone un modelo de STI que almacena todos los estilos de aprendizaje mencionados anteriormente. A cada estudiante se hace entrega de una planilla con preguntas que permiten categorizarlo de acuerdo a los estilos disponibles en el sistema.

Además de verificar los estilos de aprendizaje, los STI evalúan el estado de conocimiento del alumno, que se va modificando a través de los resultados obtenidos en las evaluaciones efectuadas por el módulo tutor. Según lo que se menciona en [15], el STI debe contar con una arquitectura que le posibilite la reutilización de los módulos que la componen, y un lenguaje generalizado para representar el conocimiento y las herramientas, a fin de manipularlo. Seguidamente, el tutor debe identificar los métodos de enseñanza más efectivos y los estilos de aprendizaje de cada estudiante, y relacionarlos con dichos métodos, como se expresa en [16].

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS Tutores INTELIGENTES

Con base en [17], el propósito del STI es presentar un comportamiento similar al de un tutor humano, que satisfaga las necesidades del estudiante y le brinde ayuda cuando cometa errores mediante la identificación de la forma en que él mismo resuelve un problema. Esto da la opción de mejorar su rendimiento a través de cada “sesión pedagógica”.

3.1. Antecedentes de los STI

Antes de la aparición de los primeros STI existían los Sistemas de Instrucción Asistida por Computador, conocidos como CAI, por sus siglas en inglés (Computer Assisted Instruction), los cuales según [18] y [19] no apoyaban de manera efectiva los procesos de aprendizaje debido a cursos muy extensos, falta de comunicación entre el tutor y el alumno, reacción de los sistemas de enseñanza sin tener en cuenta las actitudes y preferencias del alumno, la falta de evolución y modificación del conocimiento con el tiempo, entre otros.

Según [20], los primeros programas desarrollados en la rama de la IAC aplican esta metodología: presentación del material de estudio, preguntas con respuesta breve, análisis de respuestas, diagnóstico del alumno y bifurcación a material de apoyo, si es necesario, o presentación de nuevo material. Sin embargo, estos sistemas de enseñanza fueron evolucionando, como se muestra en la figura 1.

- *Programas lineales.* Mostraban el conocimiento de una manera lineal. No se podía cambiar el orden de enseñanza establecido en su momento por el programador.
- *Programas ramificados.* A diferencia de los anteriores, estos podían actuar según la respuesta del alumno.
- *Sistemas generativos.* Estos sistemas tenían la capacidad de generar un problema acorde con

el nivel de conocimiento del alumno, construir su solución y diagnosticar la respuesta del alumno.

- *Sistemas Tutores Inteligentes*. Proceso de enseñanza-aprendizaje efectivo, correcto y agradable.

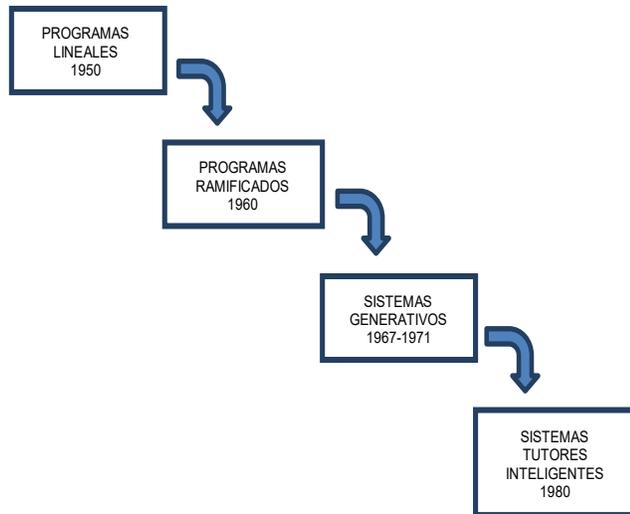


Figura 1. Evolución de los sistemas de enseñanza según lo descrito en [21].

Según [21], los STI surgieron a finales de la década de los setenta como una evolución de los CAI en combinación con técnicas de la IA y de los métodos clásicos de enseñanza. Se empezaron a estudiar las diversas formas de enseñanza, teniendo en cuenta que en algunos casos el estudiante aprende con un seguimiento continuo del profesor, y en otros el estudiante es más autónomo y por ende se adentra en un entorno que facilite el descubrimiento y experimentación de nuevo conocimiento.

3.2. Inteligencia Artificial (IA)

La IA es el área de investigación de la cual nacen diferentes desarrollos entre los que se encuentran los tutores y agentes inteligentes. En [22] se dice que la IA consiste en el diseño de sistemas informáticos inteligentes, es decir, con características muy asociadas a la inteligencia humana en cuanto a la

comprensión del lenguaje natural, capacidad para aprender y solucionar problemas, razonamiento lógico, entre otros. Un programa de IA manipula informaciones simbólicas bajo la forma de conceptos, de objetos o reglas [23].

La IA se creó siguiendo los siguientes objetivos: a) duplicar las facultades del comportamiento humano, como ser razonable; b) resolver problemas de la realidad, mediante un conjunto de ideas que permiten fijar cómo representar y utilizar el conocimiento para el desarrollo de sistemas informáticos; y c) buscar la explicación de diversas clases de inteligencia, a través de la representación del conocimiento y de la aplicación que se da a este en los sistemas informáticos desarrollados, según [22]. Las propuestas sobre el desarrollo de la IA apuntan a la creación de modelos para soluciones inteligentes de problemas en dominios específicos. En [54] aclara que el propósito de la IA en realidad es la creación de sistemas inteligentes (empleando este concepto, no en toda su extensión, sino en lo referente a lo cognitivo).

Según [24], en el campo de la IA se destacan varias áreas de aplicación, tales como la robótica, el procesamiento de lenguaje natural, reconocimiento de patrones, sistemas expertos, tutores inteligentes, agentes inteligentes, redes neuronales, programación automática, web inteligentes, entre otras. En específico, se abordará el tema de los tutores inteligentes en las actividades educativas.

Hay que resaltar que la Web 3.0 se ha empleado para mostrar la evolución de la red en dirección a la IA. Internet se ha vuelto más inteligente debido a la presencia de la IA, que enseña a las computadoras el significado de las palabras y le brinda un vocabulario muy amplio para asociar la búsqueda de un usuario con el contexto y obtener un resultado eficiente dentro de una gran cantidad información, con base en [25].

3.3. Arquitectura de los STI

Según [17], la arquitectura de los STI debe soportar lo que se denomina procesamiento distribuido, para poder utilizar la red de una manera eficiente, ya sea la Internet o cualquier otra red. Se compone de cuatro módulos principales que se definen en la figura 2.

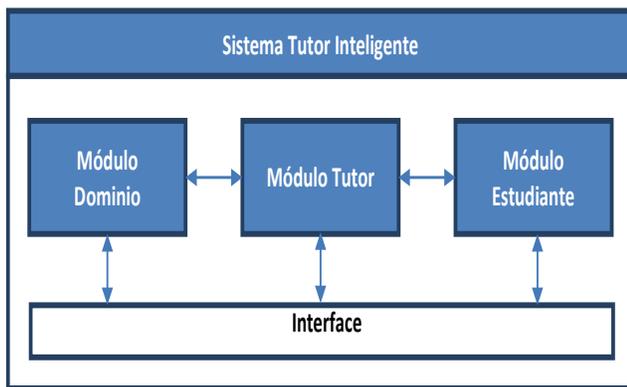


Figura 2. Estructura clásica de un Sistema Tutor Inteligente propuesta por Carbonell (1970) [17].

- Módulo Dominio

Tiene el objetivo global de almacenar por completo los conocimientos del campo de aplicación del STI. En este se recopilan todas las temáticas que van a ser orientadas por el tutor inteligente. Según [26], este módulo consta de los siguientes submódulos:

- Parámetros básicos del sistema: los cuales se almacenan en una base de datos.
- Conocimientos: son los contenidos que deben cargarse en el sistema, a través de los conceptos, las preguntas, los ejercicios, los problemas y las relaciones.
- Elementos didácticos: son las imágenes, videos, sonidos, es decir, material multimedia que se requiere para facilitarle al alumno apropiarse de conocimiento en la sesión pedagógica.

- Módulo Estudiante

En [27] se dice que el Módulo Estudiante tiene por objetivo realizar el diagnóstico cognitivo del alumno. En este módulo se privilegian las interacciones del estudiante con referencia al modelo del dominio. Cada vez que el estudiante comete un error, el STI diagnostica el problema y luego intenta remediarlo con un consejo muy detallado acerca de cómo el sistema experto habría operado en esta etapa. En [26] se exponen los siguientes submódulos:

- Estilos de aprendizaje: compuesto por una base de datos con los estilos de aprendizaje disponibles en el sistema, los métodos de selección de estilos y las características de cada uno de ellos.
- Estado de conocimientos: contiene el mapa de conocimientos obtenido inicialmente a partir del módulo del dominio, y que progresivamente el actualizador de conocimientos irá modificando a través de los resultados obtenidos en las evaluaciones efectuadas por el módulo del tutor, quien le enviará dichos resultados procesados.

- Módulo Tutor

Define y aplica una estrategia pedagógica de enseñanza. Es una de las características principales del sistema, pues permite ver el avance del estudiante con respecto a cierto contenido y de esta manera diseñar la mejor táctica de enseñanza de acuerdo a sus características. Con base en [26], se exponen los siguientes submódulos:

- Protocolos pedagógicos: almacenados en una base de datos, con un gestor para la misma.
- Planificador de lección: que organiza los contenidos de la misma.
- Analizador de perfil: analiza las características del alumno, seleccionando la estrategia pedagógica más conveniente.

- Interfaz

Según [28], la interfaz es la que permite al usuario visualizar la información respectiva en el momento de interactuar con el sistema. Si la interfaz está pobremente diseñada, al estudiante se le dificultará el manejo del computador y tendrá poca energía emocional e intelectual para aprender. El objetivo es hacer la interfaz transparente para el usuario.

En [29] se dice que las interfaces deben ser dinámicas, dotadas de multimedia, flexibles y de fácil acceso. Con el tiempo, se realizaron avances importantes en las tecnologías basadas en la Web que permitieron darles a los STI la flexibilidad necesaria. En [30] se expone un ejemplo de tutor para el aprendizaje en matemáticas, el cual proporciona al estudiante los ejercicios a resolver, planos, gráficas, tablas, variables, objetos en movimiento, entre otros elementos dirigidos a estudiantes que aprenden más fácilmente mediante la observación (estilo de aprendizaje visual). Uno de los resultados obtenidos es que el aprendizaje en la creación e interpretación de diagramas de dispersión y gráfico de barras, alcanzó en algunos casos el 47% y en otros el 28%, pasando de un 34% a un 81% en el aprendizaje de los conceptos asociados al tema.

3.4. Planificación instruccional en los STI

La planificación desde el ámbito de la IA consiste en encontrar un conjunto de acciones que permitan alcanzar un estado objetivo, a partir de un estado inicial. En [31] se dice que las acciones deben ser formuladas sobre un conjunto de elementos (propios del dominio) y pueden ser llevadas a cabo, siempre y cuando se cumplan un conjunto de restricciones previamente definidas. En el campo de los STI se determina el objetivo principal (apoyo a los procesos de aprendizaje), y luego se determinan las acciones de acuerdo a las características del estudiante, en lo que respecta a su conocimiento sobre el tema y el ritmo con el cual obtiene un nuevo conocimiento.

Con base a lo anterior, se pone de manifiesto que para lograr procesos de enseñanza y aprendizaje de calidad oportunos desde el enfoque social, tecnológico y científico y contribuir en la formación integral del alumno, se requiere de la realización de una *Planificación instruccional* que sirva como guía a la hora de seleccionar y organizar los contenidos, medios, estrategias, metodologías, tiempo y duración del proceso de enseñanza.

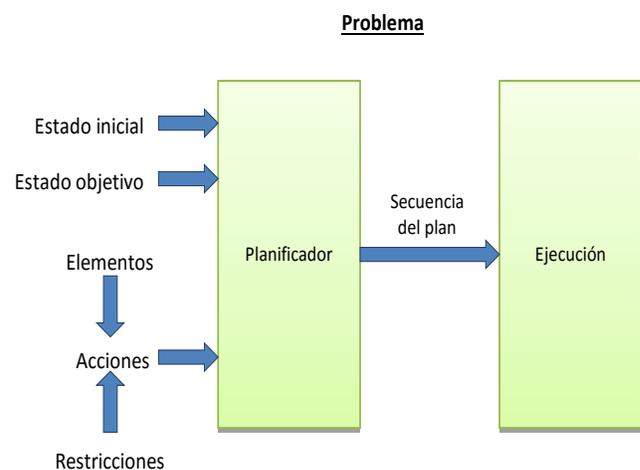


Figura 3. Sistema de planeación clásico [31].

Para construir un sistema de planificación es necesario inicialmente identificar el problema en el que se desea trabajar y luego abstraer un conjunto de elementos tales como el estado inicial, en el que se hace un análisis del contexto para detectar, por ejemplo, las falencias de un grupo de estudiantes en una determinada temática, como se expresa en [32]. Luego se identifica el objetivo a alcanzar, elementos que son relevantes en el problema (información y conocimiento sobre los temas a abordar, estudiantes, tutores), acciones a disposición para generar un resultado que dé solución al problema y las restricciones o precondición sobre las acciones.

En este orden de ideas, se puede decir que la planificación instruccional ejerce una labor relevante en los sistemas educativos para obtener la adaptación

de la instrucción al aprendiz. Según [33], la planificación es la forma más efectiva para determinar la secuencia de las acciones de manera consistente, coherente y continua, las cuales maximizan las actividades de aprendizaje de cada alumno para alcanzar los objetivos instruccionales durante una sesión de aprendizaje. Cabe resaltar que una buena planificación de la instrucción debe facilitar la evaluación continua y sistemática de cada uno de los elementos que integran los procesos de enseñanza y aprendizaje.

3.5. Técnicas de planificación instruccional

Según [31], las técnicas de la planificación instruccional han evolucionado de manera paralela a las técnicas de resolución de problemas en la IA. Los primeros sistemas disponían de un *plan instruccional condicional prefijado* por un profesor. Este definía el curso mediante una secuencia de actividades de enseñanza en donde se podía tomar un camino u otro dependiendo de las necesidades del aprendiz. Estos planes eran costosos de crear y difíciles de modificar. Luego surgieron los *planificadores algorítmicos*, que crean todos los componentes de un curso de tal manera que existan relaciones entre ellos que conlleven al entendimiento de un curso de principio a fin. Posteriormente surgen técnicas de planificación instruccional que utilizan el *razonamiento basado en casos*, en el cual un nuevo problema se compara con los casos almacenados previamente en la memoria de casos, utilizando y evaluando una solución sugerida, tal como se expresa en [34].

3.6. Los STI como aplicaciones de agentes inteligentes en la educación

En [35] se describe a un agente como aquel sistema capaz de percibir su entorno, procesar tales percepciones y responder o actuar de manera racional tendiendo a maximizar el resultado esperado. Con base en esto, los agentes inteligentes en el campo

de la educación, al igual que los STI, son herramientas de la IA que proveen diversos elementos para facilitar el aprendizaje.

Pero realmente existe una diferencia entre los dos, y esta radica en las estrategias de enseñanza utilizadas para determinada función. Los agentes inteligentes simulan el comportamiento humano no solo para tutorizar, sino también para convertirse en un miembro más de un grupo de estudiantes, colaborando o compitiendo con el estudiante humano. Según [22], los agentes inteligentes pueden actuar como competidores, colaboradores, ser críticos, es decir, actuar no solo como tutor sino también como estudiante.

Los agentes inteligentes surgieron a raíz de la influencia de la tecnología para hacer cambios en las habilidades y competencias requeridas, para lograr una inserción de las personas en la sociedad actual. En [36] se hace alusión a los agentes inteligentes como una de las herramientas de software educativo, que juega un papel importante en el apoyo al docente y al estudiante en su formación.

Según [13], un agente educativo no solo puede imponer directamente sus perspectivas en el estudiante, sino que también estimula el aprendizaje y colabora entre los estudiantes humanos. El proyecto de Justine Cassell del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) consiste en el desarrollo de sistemas con agentes inteligentes, en particular de interfaces, los cuales pueden tomar la información y representarla con discurso, con gesto, con expresión facial, con postura, etc. Según [37], estos sistemas son capaces de entender gestos de manos, faciales, detectar la presencia o ausencia del usuario, si lo conoce o no, entre otros elementos.

3.7. Los STI y los sistemas

Según [38], los sistemas hipermedia son aquellos que emplean un conjunto de métodos para escribir, diseñar o componer contenidos que tengan texto,

video, audio, mapas u otros medios para interactuar con los usuarios.

Según [39], los sistemas hipermedia no son adecuados para un fin educativo debido, en primer lugar a su flexibilidad, pues el usuario se puede “perder” en la cantidad de información disponible si el dominio (campo de enseñanza) es grande; y segundo, por su escasa adaptación al usuario: la información que contienen los hipermedia tradicionales no es dinámica, significa que no toma en cuenta las características del usuario ni su conocimiento adquirido, lo cual conlleva a que el acceso a la información sea algo tedioso o que haya un cambio de tema sin la total asimilación por parte del estudiante.

La coalición de algún otro sistema inteligente con un sistema hipermedia puede resultar muy eficiente para el estudiante en su aspiración por obtener el conocimiento. A raíz de esta unión surgen los hipermedia adaptativos, cuyo objetivo principal es incrementar la funcionalidad del hipermedia clásico mediante el acceso personalizado a la información, como se describe en [53].

Un ejemplo o caso de aplicación es el sistema *Hyper Tutor* que se expone en [39], resultado de la integración de un sistema tutor inteligente y un sistema hipermedia. El diseño del sistema ha sido realizado de manera que la parte tutor se beneficie de la flexibilidad y utilización de distintos medios audiovisuales que motivan al alumno y proporcionan distintas formas de presentar la información que provee la parte hipermedia. Esta última se beneficia de la adaptación al alumno que realiza el tutor haciendo que el resultado sea un sistema más educativo. Por lo tanto, *Hyper Tutor* tiene la capacidad de adecuar el hiperespacio disponible dependiendo del conocimiento del alumno y, a medida que este va aprendiendo, la accesibilidad crece, dándole la oportunidad de alcanzar nuevas informaciones.

3.8. La WWW y los Sistemas Tutores Inteligentes

La *World Wide Web* nace a principios de los años noventa en Suiza con el objetivo de ordenar y distribuir la información que existe en internet, la WWW se basa en páginas en las que se pueden insertar hipervínculos que conducen al usuario de una página web a otra o a otro punto de esa web, como se menciona en [41].

Aunque algunos sistemas de tutoría tienen la información correcta y estrategias de enseñanza apropiadas, un aprendiz aún podría carecer de la motivación para completar un proceso de aprendizaje, según [42]. La principal razón es que en estos sistemas se aplica el mismo enfoque para todos los alumnos y no se tienen en cuenta los diferentes niveles de conocimiento de los usuarios, estilos de aprendizaje y las demandas.

En [43] se dice que con la aparición de la WWW se ha incrementado la aplicación de STI en los cuales se considera plenamente la psicología del alumno, características, preferencias multimedia, nivel de conocimientos y evolución en el proceso de enseñanza para mejorar los efectos pedagógicos.

En [44] se propone el modelo de un sistema tutor inteligente personalizado basado en la web, como se evidencia en la figura 4.

Este modelo consta de cuatro módulos de usuario, interfaz, modelo de usuario y la base de conocimiento del dominio.

- Módulo de usuario: interactúa con los usuarios para construir modelos de usuario (registro de información básica, como los datos personales, el usuario, características, etc.) para los nuevos usuarios; y para actualizar los modelos de usuario en el proceso de aprendizaje.

- Módulo de gestión de los recursos: utiliza material didáctico multimedia para representar y actualizar el conocimiento del dominio.
- Módulo pedagógico: produce unidades didácticas personalizadas de acuerdo a los modelos de usuario, la enseñanza, materiales, métodos de enseñanza y así sucesivamente.
- Módulo de guía: interactúa con los alumnos durante todo el proceso de aprendizaje y mejora su confianza para seguir un curso.

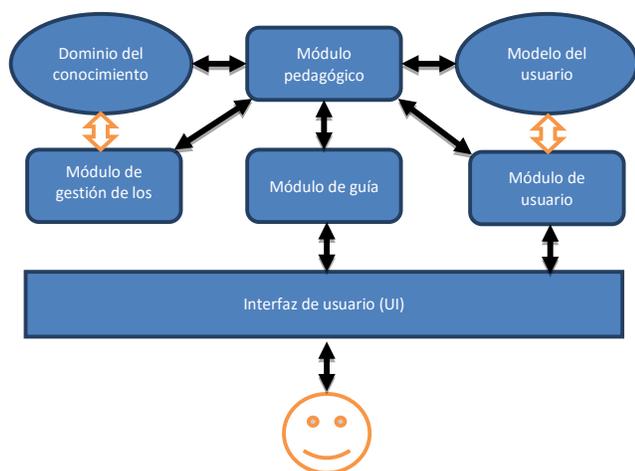


Figura 4. Modelo de una web basada en un STI personalizado [42].

3.9. Debilidades en los STI

Una de las debilidades más notorias de los STI es que sus módulos no se han construido como sistemas expertos independientes, pues cada parte no constituye un área de investigación diferente sino que intervienen en todas las actividades llevadas a cabo con los aprendices. Esto hace que la complejidad de STI aumente y que sea más difícil su elaboración. En [45] se exponen otras limitaciones de los STI:

- Alto costo de desarrollo.
- Alto costo del equipamiento requerido para su uso.
- Incapacidad para manipular dominios complejos.

- Carencia de métodos de representación del conocimiento que faciliten el acceso a dicho conocimiento.
- Necesidad de añadir al dominio conocimiento secundario relacionado.

La disminución de los costos mencionados anteriormente ha llevado a la creación de entrenadores inteligentes, cuya función no está orientada a la formación total del estudiante sino a supervisar la actividad práctica del estudiante mediante el control de errores, hacer recomendaciones y controlar la presentación dosificada de problemas y ejercicios, según [20].

3.10. Métodos, técnicas y herramientas para la creación de un STI

A continuación se muestra el conjunto de métodos, técnicas y herramientas que según [33] se requieren para desarrollar un Sistema Tutor Inteligente, señalando además el área al cual pertenece cada uno de ellos:

- *Psicología cognitiva.* Relacionado con mapas conceptuales.
- *Teorías de aprendizaje y enseñanza.* Métodos de enseñanza y teorías de evaluación.
- *Diseño de interfaces.* Hipermedias, interfaces con lenguaje natural que faciliten la comprensión por parte del usuario.
- *Computación gráfica.* Tratamiento de recursos multimedia y algoritmos de comprensión.
- *Bases de datos.* Bases multimedia, técnicas de minería de datos y ontologías.
- *Herramientas de sistemas inteligentes.* Redes neuronales [55], algoritmos genéticos, técnicas de clasificación e inducción de estudiantes.
- *Herramientas de ingeniería de software.* Metodologías de diseño (necesarios antes de la programación), prototipos para pruebas, reusabilidad (en caso de sistemas existentes) y componentes.

3.11. Casos de estudio

Sistema de Tutorías Inteligente para Tuberculosis STI-TB. En [1], se afirma que en la ciudad de Popayán, Colombia, se creó un prototipo de STI denominado STI-TB, que aplica la arquitectura de un STI para la formación de profesionales de la salud en los planes de prevención y control de enfermedades graves, como la tuberculosis. El STI se basa en el razonamiento basado en casos, que consiste en el estudio de casos anteriores (si existe alguno similar) para dar solución al problema planteado.

ELE-TUTOR: STI para el español como lengua extranjera. En [27] se expone la arquitectura de un STI para la enseñanza del español como lengua extranjera, desarrollado en Chile. Este tutor implementa técnicas de procesamiento de lenguaje natural basadas en teorías gramaticales para procesar la entrada del estudiante, superando además los errores lingüísticos de los estudiantes. El STI implementa sistemas de aprendizaje de lenguas asistido por computador, conocido como CALL por sus siglas en inglés (Computer-Assisted Language Learning), para gestionar la comunicación con los estudiantes mediante elementos multimedia (estilos de aprendizaje visual, auditivo).

MAS-PLANG. Es un sistema tutor inteligente que se adapta a los estilos de aprendizaje del estudiante mediante el manejo de cinco niveles de estilos de aprendizaje propuestos en el modelo FLSM (que según [46], son los estilos de Aprendizaje propuestos por Felder & Silverman), el cual permite categorizar estudiantes de acuerdo a su habilidad para procesar, percibir, recibir, organizar y entender la información, como se explica en [29]. Además el STI modela al estudiante empleando técnicas de razonamiento basado en casos y reglas de lógica difusa (basada en reglas lógicas y matemáticas).

Tutor para el aprendizaje en matemática. En un estudio realizado en 2008 en Costa Rica, se determinó

la necesidad de utilizar las nuevas tecnologías por parte de los docentes de matemáticas de un colegio académico rural. Según [30], este resultado influyó en la creación de un tutor cognitivo que permite a los estudiantes trabajar a su propio ritmo, dándole al profesor la posibilidad de monitorear a los estudiantes más de cerca y ayudar a aquellos que tienen más dificultades en el aprendizaje de la materia. En este caso resultó muy efectiva la elección del estilo de aprendizaje visual, basado en métodos de enseñanza como aprendizaje basado en problemas matemáticos y estadísticos. El resultado mostró la satisfacción de los estudiantes por el trabajo de manera didáctica e interactiva, mucho más fácil de comprender.

Existen otros casos de estudio como [47], [48], [49], [50], [51], [52], [56], donde se emplean elementos de los tutores inteligentes (módulos de la arquitectura) y de la relación con otras herramientas de la IA (mencionadas anteriormente) para la solución de problemas de aprendizaje.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La investigación llevada a cabo ha permitido reunir los aspectos más relevantes de los STI y presentarlos como una herramienta óptima para lograr un proceso de enseñanza-aprendizaje. Se ha destacado la ventaja de los tutores inteligentes en cuanto se adaptan a las características del estudiante y de acuerdo a estas diseña la mejor estrategia pedagógica para dirigirse a él y lograr su aprendizaje.

Los conceptos plasmados en este documento han sido producto de un extenso proceso de investigación, en el cual se ha descubierto no solo el impacto de los STI sino también de otras herramientas que apoyan los procesos de aprendizaje, y la forma como cada una de estas aplica diferentes técnicas y métodos de la IA para lograr los objetivos definidos.

Los casos de aplicación de STI han generado resultados positivos por parte de los usuarios, quienes

aseguran que el aprendizaje se logra más rápidamente y, aún más, cuando a raíz de la unión con sistemas hipermedia se brinda un nuevo conocimiento de manera interactiva. Esto revela de nuevo la evolución de la IA a lo largo de la historia, que busca siempre el beneficio para las personas mediante la solución a sus problemas, teniendo en cuenta que se evidencia en la mayoría de los contextos educativos, en los cuales influyen varios factores: primero, se piensa que el estudiante no cuenta con las bases de conocimiento suficientes para enfrentarse a un determinado curso, y es muy difícil retomar los conceptos que son pre-requisitos. También se pueden dar casos en los que el docente no aplica la metodología correcta o que su estrategia pedagógica es ineficiente, y no permite que el estudiante se sienta cómodo en su entorno.

Estas posibles causas son evidentes en cualquier ambiente de aprendizaje, sin desconocer que el problema principal y sobre el cual se ha hablado a lo largo del documento, consiste en los estilos de aprendizaje de cada estudiante y las metodologías que se deben implementar. Sin duda alguna, este estilo de aprendizaje es innato al estudiante y por ende, no se puede obviar la posibilidad para involucrarse en un proceso de aprendizaje cualquiera. Sin embargo, se considera importante el aporte de cada estudiante, en cuanto complementa de manera más intensa los resultados obtenidos.

En relación a esto, se destaca una problemática presentada en la Universidad de la Amazonia, para asignaturas relacionadas con lógica, algoritmos y programación. Según el reporte generado, donde se muestra el número de estudiantes aprobados y no aprobados en los periodos académicos del 2012, 2013 y 2014 para los programas de ingeniería, el índice de no aprobación ha aumentado. La figura 5 muestra los resultados obtenidos por el número de estudiantes matriculados en estas asignaturas para cada uno de los periodos académicos.



Figura 5. Resultados obtenidos en lógica, algoritmos y programación entre 2012 y 2014. Tomados de: Chairá Universidad de la Amazonia. Reporte Febrero 2015.

Ante esta problemática, se considera recomendable el desarrollo de un sistema tutor inteligente (STI) con el objetivo de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en esta área. La elección de esta herramienta obedece a su eficiencia en los procesos de aprendizaje, pues ha resultado ser muy adaptativa para cualquier estudiante, en particular teniendo en cuenta sus capacidades cognitivas.

Se prevé a futuro la implementación de este STI en la Universidad de la Amazonia, en el que mediante ejemplos y simulaciones claras el estudiante pueda entender fácilmente los contenidos y poco a poco obtener la lógica necesaria para estar en la capacidad de construir diversos algoritmos. En la universidad se da el caso de estudiantes que para entender los contenidos de esta asignatura recurren a diagramas y animaciones que simulen un comportamiento determinado (estos tendrían el estilo de aprendizaje visual), mientras que otros comprenden con mayor facilidad. Se deben resaltar las habilidades de cada uno de ellos y sus formas de aprender, reto al cual se le apuesta con la implementación del STI.

REFERENCIAS

- [1] C. González, J. Burguillo, M. Llamas y J. Vidal, "Sistemas tutores inteligentes: propuesta de una arquitectura para aprendizaje en salud pública", 2010, [en línea]. Consultado el 01 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.ufrgs.br/niee/eventos/RIBIE/2004/breve/breves1236-1245.pdf>
- [2] F. Parra, *Sistema Tutorial Inteligente*, Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT), Instituto de ciencias físicas, 2010, [en línea]. Consultado el 01 de septiembre de 2014, disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13617/1/Sistema%20Tutorial%20Inteligente.pdf>
- [3] C. Hernández, "Metodologías de enseñanza y aprendizaje en altas capacidades". Dpto. de Psicología Evolutiva y de la Educación, pp. 6-8, S.f., Consultado el 23 de abril de 2015, disponible en: <http://gtisd.webs.ull.es/metodologias.pdf>
- [4] M. Ramírez, *Modelos y estrategias de enseñanza para ambientes innovadores*, Monterrey, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2012, [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible en: https://www.editorialdigitaltec.com/materialadicional/ID254_RamirezMontoya_Modelosyestrategiasdeensenanza.cap1.pdf
- [5] I. Barrio, J. González, L. Padín, P. Peral, I. Sánchez y E. Tarín, "Métodos de investigación educativa. El estudio de casos". *Magisterio Educación Especial. Universidad Autónoma de Madrid*, no. 3, pp. 5-6. 2009 [en línea]. Consultado el 23 de abril de 2015, disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Est_Casos_doc.pdf
- [6] F. Díaz, *El aprendizaje basado en problemas y el método de casos. Enseñanza situada: Vínculo entre la escuela y la vida*. México, McGraw Hill, 2005, [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible en: http://caps.educacion.navarra.es/infantil/attachments/article/15/El_aprendizaje_basado_en_problemas_y_el_metodo_de_casos%5B1%5D.pdf
- [7] Servicio de Innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid, *El método del caso*, 2008, [en línea]. Consultado el 22 de abril de 2015, disponible en: <http://innovacioneducativa.upm.es/guias/MdC-guia.pdf>
- [8] L. Galeana, "Aprendizaje basado en proyectos". Universidad de Colima. 2007 [en línea]. Consultado el 22 de abril de 2015, disponible en: <http://ceupromed.ucol.mx/revista/PdfArt/1/27.pdf>
- [9] J. García, C. Sánchez, M. Jiménez y M. Gutiérrez, "Estilos de aprendizaje y estrategias de aprendizaje: un estudio en discentes de postgrado". *Revista Estilos de Aprendizaje*, no. 10, vol. 10, 2012, [en línea]. Consultado el 25 de abril de 2015, disponible en: http://www.uned.es/revistaestilosdeaprendizaje/numero_10/articulos/Articulo06.pdf
- [10] S. Suebnukarn y P. Haddawy, "Sistema de tutorías inteligente colaborativo para ABP en medicina". *Revista Educación en Ciencias de la Salud*, vol. 41, pp. 32-35, 2007, [en línea]. Consultado el 27 de octubre de 2014, disponible en: <http://www2.udec.cl/ofem/recs/anteriores/vol412007/artrev4107a.pdf>
- [11] Aula Diez, *Descripción y clasificación de los estilos de aprendizaje*, 2005 [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible en: <http://www.auladiez.com/didactica/estilos-aprendizaje-01.html>. Fecha acceso: 24/04/15.
- [12] F. Salgueiro, G. Costa, Z. Cataldi, F. Lage y R. García-Martínez, *Sistemas tutores inteligentes con modelado del tutor y del estudiante para mejorar los aprendizajes de programación en ingeniería*. LIEMA-Laboratorio de Informática Educativa y Medios, 2005 [en línea]. Consultado el 07 de octubre de 2014, disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/hand->

- [le/10915/18488/Documento_completo_.pdf?sequence=1](#)
- [13] Z. Cataldi, F. Salgueiro, F. J. Lage y R. G. Martínez, *Sistemas tutores inteligentes: los estilos del estudiante para selección del tutorizado*, 2011, [en línea]. Consultado el 01 de septiembre de 2014, disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/21144/Documento_completo.pdf?sequence=1
- [14] Z. Cataldi y F. Lage, "Modelado del Estudiante en Sistemas Tutores Inteligentes". *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (TE&ET)*, pp. 29-38. no. 5, 2010 [en línea]. Consultado el 30 de septiembre de 2014, disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/14197/Documento_completo.pdf?sequence=1
- [15] Z. Cataldi y F. J. Lage, "Sistemas tutores inteligentes orientados a la enseñanza para la comprensión". *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, no. 28, 2009, [en línea]. Consultado el 01 de septiembre de 2014, disponible en: http://edutec.rediris.es/Revelec2/revelec28/articulos_n28_pdf/Edutec-E_Cataldi_Lage_n28.pdf
- [16] Z. Rongmei y L. Lingling, "Research on Internet Intelligent Tutoring System Based on MAS and CBR", *Information Technology and Applications. IFITA'09. International Forum on*, vol. 3, pp. 681-684, 2009.
- [17] F. J. Lage y Z. Cataldi, "Modelo de sistema tutor distribuido para educación a distancia". *LIEMA-Laboratorio de Informática Educativa y Medios Audiovisuales. Facultad de Ingeniería. UBA*, 2014, [en línea]. Consultado el 12 de septiembre de 2014, disponible en: http://web-cache.googleusercontent.com/search?q=cache:g2XgtxR_9zYJ:repositorial.cuaed.unam.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/1571/1/Modelo%2520STI%2520Internet-1.doc+&c-d=1&hl=es&ct=clnk&gl=co
- [18] C. Huapaya, G. Arona y F. Lizarralde, "Enseñanza de la Ingeniería con Sistemas Tutoriales Inteligentes", *Inf. tecnol.* vol. 16 no. 5, 2005, [en línea]. Consultado el 09 de septiembre de 2014, disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000500012
- [19] G. Ruddeck y A. Martens, "Communication Patterns in Component-Based Intelligent Tutoring Systems", *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2010 IEEE 10th International Conference on*, pp. 181-185, 2010.
- [20] M. Corredor, "Sistemas Tutoriales Inteligentes", S.f., [en línea]. Consultado el 01 de septiembre de 2014, disponible en: <http://186.113.12.12/discoext/collections/0007/0029/02370029.pdf>
- [21] M. Urretavizcaya, "Sistemas inteligentes en el ámbito de la educación". *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 5, no. 12, pp. 5-12, 2001, [en línea]. Consultado el 12 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92551202>
- [22] G. Villareal, *Agentes inteligentes en educación*, Chile, EDUTEC-Universidad Santiago de Chile, S.f., [en línea]. Consultado el 30 de septiembre de 2014, disponible en: <http://edutec.rediris.es/Revelec2/Revelec16/villarreal.pdf>
- [23] T. Hardy, "IA: Inteligencia Artificial". *Polis, Revista de la Universidad Bolivariana*, vol. 1, no. 2, p. 0, 2001, [en línea]. Consultado el 14 de octubre de 2014, disponible en: <http://redalyc.org/articulo.oa?id=30500219>
- [24] V. Tarongí, "Sistema Tutor Inteligente Adaptativo para laboratorios virtuales y remotos", 2010, [en línea]. Consultado el 07 de octubre de 2014, disponible en: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13851/Trabajo%20de%20Investigacion.pdf?sequence=1>
- [25] H. L. Álvarez, M. P. Ferraro y F. G. Peñalvo, "Metodología para determinar atributos y métricas de calidad en sistemas hipermedia adaptativos educativos basados en estilos de aprendizaje". *Educación. Revista de la Universidad de Costa Rica*, vol. 29, no. 1, pp. 91-101, 2005, [en línea]. Consultado el 14 de

- octubre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44029109>
- [26] Z. Cataldi, P. Calvo y F. Fernando, "Diseño de Sistemas Tutores Inteligentes con Tecnología de Agentes: Los Agentes Docentes en el Módulo Tutor". *RESI—Revista Electrónica de Sistemas de Información*, nº 1, 2007, [en línea]. Consultado el 07 de octubre de 2014, disponible en: <http://revistas.facecla.com.br/index.php/reinfo/article/viewFile/191/99>
- [27] A. Ferreira, P. Salcedo, G. Kotz y F. Barrios, "La Arquitectura de ELE-TUTOR: Un Sistema Tutorial Inteligente para el Español como Lengua Extranjera". *Revista Signos*, vol. 45, nº 79, pp. 102-131, 2012, [en línea]. Consultado el 12 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=157023091001>
- [28] I. Morales y M. Jiménez, "Tutores inteligentes en la enseñanza de la matemática en secundaria". Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Universidad de Costa Rica, 2008, [en línea]. Consultado el 15 de mayo de 2015, disponible en: <funes.uniandes.edu.co/4799/1/MoralesTutoresALME2010.pdf>
- [29] T. Jacson y A. Graesser, "Aplicaciones del diálogo humano de tutoría al Auto Tutor: Un sistema inteligente de tutoría". *Revista Signos*, vol. 399, no. 60, pp. 31-48, 2006, [en línea]. Consultado el 12 de octubre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=157013768002>
- [30] M. Castro, E. Cárdenas, A. Ogan y R. Baker, *Tutor Cognitivo y el incremento de aprendizaje en matemática*. XIII CIAEM- Conferencia Interamericana de Educación Matemática, Recife, Brasil, 2011, [en línea]. Consultado el 07 de octubre de 2014, disponible en: <http://www.columbia.edu/~rsb2162/CIAEM.pdf>
- [31] F. Arias, J. Jiménez y D. Ovalle, "Modelo de planificación instruccional en sistemas tutoriales inteligentes". *Revista Avances en Sistemas e Informática*, vol. 6, no. 1, pp. 155-164, 2009, [en línea]. Consultado el 23 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=133112608016>
- [32] H. El-Sattar, "An Intelligent Tutoring System for Improving Application Accessibility of Disabled Learners", *Computer Graphics, Imaging and Visualisation. CGIV'08. Fifth International Conference on*, pp. 286-290, 2008.
- [33] Z. Cataldi y F. Lage, "Sistemas Tutores Inteligentes: Procedimientos, métodos, técnicas y herramientas para su creación". *Virtual Educa Argentina*, 2009-2010, [en línea]. Consultado el 13 de octubre de 2014, disponible en: <http://repositorial.cuaed.unam.mx:8080/jspui/handle/123456789/1902>
- [34] Z. Tan, L. Weiling, L. Liu y Z. Yang, "The Application of Ontology Model in Intelligent Tutoring System", *Computer Science and Software Engineering. International Conference on*, vol. 5, pp. 1176-1179, 2008.
- [35] M. Lobato y L. Morales, "Agentes Inteligentes En La Educación Formativa". *Revista TEC*, 2010, [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible en: http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com_content&view=article&id=591:agentes-inteligentes-en-la-educacion-formativa&catid=27:artlos&Itemid=288
- [36] F. Salgueiro, Z. Cataldi y R. García-Martínez, "Los estilos pedagógicos en el modelado del tutor para Sistemas Tutores Inteligentes". *Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, vol. 2, pp. 70-79, 2005, [en línea]. Consultado el 30 de septiembre de 2014, disponible en: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/020204/A4mar2005.pdf>
- [37] K. Ryokai, C. Vaucelle y J. Cassell, "Literacy Learning by Storytelling with a Virtual Peer". In *Proceedings of Computer Support for Collaborative Learning*, 2002.
- [38] L. Cobaleda y F. Duitama, "Personalización de contenidos en sistemas hipermedia educativos adaptativos: una revisión". *Revista*

- Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, n° 50, pp. 217-226, 2009, [en línea]. Consultado el 14 de octubre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43016338020>
- [39] C. Peña, J. Marzo, J. de la Rosa y R. Fabregat, "Un sistema de tutoría inteligente adaptativo considerando estilos de aprendizaje". *UIS Ingenierías*, vol. 1, no. 2, 2002, [en línea]. Consultado el 13 de mayo de 2015, disponible en: <http://www.niee.ufrgs.br/eventos/RIBIE/2002/actas/paper-020.pdf>
- [40] Y. Dinza, "Sistema Entrenador Inteligente con Tecnología Multimedia. Óptima-Geometría". *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, vol. 3, no. 2, pp. 99-129, 2000, [en línea]. Consultado el 23 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33530202>
- [41] A. Cruces, "Multiagentes en el diseño de un sistema de enseñanza inteligente". *Perfiles Educativos*, no. 75, 1997, [en línea]. Consultado el 23 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13207503>
- [42] H. Xuechen, "A Web-based Intelligent Tutoring System for English Dictation", *Artificial Intelligence and Computational Intelligence. AICI'09. International Conference on*, vol. 4, pp. 583-586, 2009.
- [43] C. Qi-rong, "Research on Intelligent Tutoring System Based on Affective Model", *Multimedia and Information Technology (MMIT). Second International Conference on*, vol. 1, pp. 7-9, 2010.
- [44] L. Zhiping, X. Tianwei y S. Yu, "Developing a Negotiation-based Intelligent Tutoring System to Support Problem Solving: A Case Study in Role-play Learning", *Advanced Learning Technologies. ICALT'08. Eighth IEEE International Conference on*, pp. 356-360, 2008.
- [45] M. Espinosa y Z. Valdivia, "La Inteligencia Artificial en la Informática Educativa". *Laboratorio de Informática Educativa*, 2008, [en línea]. Consultado el 07 de octubre de 2014, disponible en: <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/050510/A2mar2008.pdf>
- [46] D. Caviedes, V. Medina y O. García, *Diseño de un STI basado en estilos cognitivos*, 2009, [en línea]. Consultado el 23 de octubre de 2014, disponible en: <http://www.istec.org/wp-content/gallery/ebooks/sibd/docs/sibd09-final9.pdf>
- [47] C. Lan, C. Tseng y R. Lai, "Developing a Negotiation-based Intelligent Tutoring System to Support Problem Solving: A Case Study in Role-play Learning", *Advanced Learning Technologies. ICALT'08. Eighth IEEE International Conference on*, pp. 356-360, 2008.
- [48] B. Manjón, "Sistemas de ayuda inteligente para entornos informáticos complejos". *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, n° 12, pp. 59-67, 2001, [en línea]. Consultado el 12 de octubre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92551207>
- [49] C. Pagés, J. Martínez, O. Gutiérrez y T. Díez, "Sistema Inteligente de Tutorización Avanzada (SITA). Un caso de aplicación: GEKA". *RED. Revista de Educación a Distancia*, n° 2, pp. 1-13, 2005, [en línea]. Consultado el 23 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54709507>
- [50] J. Marciniak, "Building intelligent tutoring systems immersed in repositories of e-learning content". *Elsevier*, pp. 541-550, 2014.
- [51] C. Mercado y J. Reynoso, "Un estudio piloto sobre el efecto de los tutores cognitivos para la enseñanza de conceptos básicos de programación". *Investigación y Ciencia*, vol. 18, no. 48, pp. 17-29, 2010, [en línea]. Consultado el 14 de octubre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67413203004>
- [52] Y. Ossandón, "Sistemas Tutores: Una Alternativa Para el Proceso Enseñanza-Aprendizaje en la Ingeniería". *Revista Facultad de*

- Ingeniería*, no. 9, pp. 63-67, 2001, [en línea]. Consultado el 12 de septiembre de 2014, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11400908>
- [53] C. Soledad, "Sistemas inteligentes en la educación: una revisión de las líneas de investigación y aplicaciones actuales". *Revista RELIEVE (Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa)*, vol. 10, no. 1, pp. 3-22, 2014, [en línea]. Consultado el 01/09/2014, disponible en: http://www.uv.es/RELIEVE/v10n1/RELIEVEv10n1_1.pdf
- [54] E. Parra, *Sistemas tutoriales inteligentes, un aporte de la inteligencia artificial para la mediación pedagógica*, 2013, [en línea]. Consultado el 01/09/2014, disponible en: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/279/528>
- [55] Z. Salgueiro, "Sistemas tutores inteligentes: redes neuronales para selección del protocolo pedagógico". *LIEMA-Laboratorio de Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 2012, [en línea]. Consultado el 30 de septiembre de 2014, disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23270/Documento_completo.pdf?sequence=1
- [56] G. Santos y Á. Figueira, "Web-Based Intelligent Tutoring Systems Using the SCORM 2004 Specification - a conceptual framework for implementing scorm compliant intelligent web-based learning environments", *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2010 IEEE 10th International Conference on*, pp. 676-678, 2010.
- [57] Universidad Politécnica de Madrid, *Aprendizaje Orientado a Proyectos*. Servicio de innovación educativa, 2008, [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible en: http://innovacioneducativa.upm.es/guias/AP_PROYECTOS.pdf





La Realidad Aumentada como apoyo didáctico en el aprendizaje del doblaje de alambres en los procedimientos de ortodoncia y ortopedia¹

Augmented Reality as a Didactic Support in the Learning of Dubbing of Wires in Orthodontic and Orthopedic Procedures

Jairo Augusto Cortes Méndez² María Alejandra González B.³ Jaime Alberto Páez Páez⁴ Adíela Ruiz⁵

Para citar este artículo: Cortes, J., González, M., Páez, J. y Ruiz, A. (2015). La Realidad Aumentada como apoyo didáctico en el aprendizaje del doblaje de alambres en los procedimientos de ortodoncia y ortopedia, 6(1), 45-59.

Recibido: 25-marzo-2015 / Aprobado: 29-mayo-2015

Resumen

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) enriquecen el proceso enseñanza-aprendizaje; el uso de los ambientes en Realidad Aumentada como apoyo a los procedimientos odontológicos, a través de la utilización de procesos educativos en la preclínica de ortodoncia, surge como alternativa para mejorar la práctica de los estudiantes en diferentes rutinas. El objetivo general de la investigación fue diseñar, implementar y evaluar una aplicación de la Realidad Aumentada como apoyo a los procedimientos odontológicos. La investigación se realizó en tres fases. Al aplicar la estrategia didáctica propuesta se buscaba determinar si esta es una herramienta más eficaz que el método de enseñanza tradicional para la enseñanza de los contenidos relacionados con doblaje de alambres en ortodoncia. El resultado de la investigación fue una aplicación

en ambiente de Realidad Aumentada como apoyo a los procedimientos odontológicos, por medio de la utilización de procesos educativos en la preclínica de ortodoncia.

Palabras clave: Diseño Instruccional, Tecnología Educativa, Ambiente virtual.

Abstract

The information and communications technology (ICT) enrich the teaching-learning process; the use of augmented reality environments to support dental procedures through the use of educational processes in preclinical orthodontic emerges as an alternative to improve the practice of students in different routines. The overall objective of the research was to design, implement and evaluate an application of Augmented Reality to support dental

1. El Artículo corresponde a un proyecto de investigación financiado por la Universidad Cooperativa de Colombia para ser desarrollado en el año 2014.
2. J.A. C. es Docente de la Universidad Cooperativa de Colombia del programa de Ingeniería de Sistemas sede Bogotá; Teléfono: 3138439689. Colombia (e-mail: Jairo.cortes@campusucc.edu.co).
3. M. G. es Docente de la Universidad Cooperativa de Colombia del programa de Odontología sede Bogotá. Teléfono: 3006307802. Colombia (e-mail: m_alejandragonzalez@yahoo.com).
4. J.A. P. es Docente de la Universidad Cooperativa de Colombia del programa de Ingeniería de Sistemas sede Bogotá; Teléfono: 3153904830; e-mail: jaime.paez@campusucc.edu.co.
5. A. R. es Docente de la Universidad Cooperativa de Colombia del programa de Odontología sede Bogotá. Teléfono: 3142480563. Colombia (email: adielaruizo@hotmail.com).

procedures. The research was conducted in three phases. By applying the teaching strategy proposal sought to determine if this is one that the traditional teaching method for teaching content related to orthodontic wires dubbing most effective tool. The result of the research was an application in Augmented Reality environment to support dental procedures, through the use of educational processes in pre-clinical orthodontics.

Keywords: Instructional Design, Educational Technology, Virtual Environment.

1. INTRODUCCIÓN

Los alambres son los principales elementos activos utilizados en el tratamiento ortodóntico. Al ser doblados por el ortodoncista, transmiten presión sobre los dientes, lo que más tarde será convertido en respuesta biológica para producir el movimiento dentario [1]. En el ámbito educativo, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se encuentran promoviendo una nueva visión del aprendizaje y del conocimiento, situación a la que no es ajena la odontología. Así, la introducción de estas tecnologías en el proceso enseñanza-aprendizaje brindan condiciones óptimas para transformar la enseñanza en otro tipo de educación donde el estudiante se hace más participativo en la apropiación del conocimiento; sin embargo, ellas por sí solas no garantizan el éxito [2].

Entre las tecnologías que complementan la percepción e interacción con el mundo real se halla la Realidad Aumentada, que surge como respuesta a las necesidades, vivencias y emociones que el ser humano requiere para mejorar los niveles de interactividad con la tecnología, especialmente en la relación de lo real con lo virtual y viceversa. En este sentido, todavía se estudia el grado

de efectividad de esta tecnología en los infinitos campos de aplicación que tiene; en ella “la cámara captura la información del mundo real, el sistema de posicionamiento determina la ubicación y orientación del usuario en cada momento, con esta información se genera el escenario virtual que se va a mezclar con la señal de video capturada para generar la escena aumentada. Esta escena compuesta por la información real y la virtual, se presenta al usuario a través del dispositivo de visualización (dispositivos móviles, visor de imagen digital)”[6].

En la Especialización de Ortopedia Funcional y Ortodoncia de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Bogotá D.C., se imparte una preclínica en ortodoncia, en donde se enseña el doblaje de alambres; allí los estudiantes desarrollan habilidades a partir de la instrucción teórica y práctica con ejercicios activos. No obstante, las demostraciones prácticas se realizan en un tiempo de trabajo breve, lo cual hace que cuando el estudiante requiera repetir este procedimiento no cuente con una estrategia didáctica que le permita recrear dicha práctica, aunque la especialización cuente con los CD sobre biomecánica [3], alambres en ortodoncia [4] y dobleces en ortodoncia [5], que le dan la posibilidad de repasar la teoría, pero no el acceso a repetir el proceso en el que se sientan inseguros. Actualmente, se reportan investigaciones sobre la utilización de esta tecnología en ciencias de la educación, ejemplo de ello es el trabajo realizado por Basogain X, Olabe M, Espinosa K, Rouèche C y Olabe JC, sobre Realidad Aumentada en la educación: una tecnología emergente donde se describe el fundamento básico de la misma y se enumeran diferentes iniciativas de su aplicación en diferentes ámbitos de la educación, quedando fuera del alcance del artículo los aspectos pedagógicos y tecnológicos que conlleva la Realidad Aumentada [6].

Una de las aplicaciones más populares de Realidad Aumentada en la educación es el proyecto Magic Book, del grupo HIT, de Nueva Zelanda. En este

proyecto, el usuario puede leer un libro mediante un visualizador de mano y acceder a contenidos virtuales. Cuando en una página encuentra información interesante, el usuario puede introducirse y experimentar la escena en un entorno inmersivo [7].

En cuanto a la aplicación de la Realidad Aumentada en odontología, la búsqueda bibliográfica arroja pocos estudios, entre ellos se encuentra el desarrollado por José Alemán, sobre Odontología Robótica en Odontosalud, en donde desde la Realidad Aumentada se capacita en la colocación de un implante dental [8].

En la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC), sede Bogotá, se ha venido trabajando en la consolidación de un modelo pedagógico mediado por las TIC a través de un portafolio de contenidos virtuales, que hasta el momento le permite contar con 60 mil estudiantes; materia que en los últimos cuatro años han tomado los cursos institucionales en la modalidad virtual [9]. Las especializaciones de odontología en la sede Bogotá D.C. han venido organizando una serie de software educativos y cursos virtuales, como apoyo educativo a través de trabajos de grado y docentes de la mano del grupo de investigación Odontopostgrados UCC; no obstante, al ser analizados se evidencian deficiencias que ameritan una reestructuración desde la tecnología educativa, con el fin de perfeccionarlos y encaminarlos hacia las nuevas tecnologías. Es así como surge la propuesta sobre el uso de la Realidad Aumentada en la enseñanza de dobleces en alambre como una alternativa para mejorar la práctica en la preclínica antes mencionada.

En este sentido, el proyecto de investigación siguió los siguientes parámetros:

Pregunta de investigación:

¿En la preclínica de ortodoncia la utilización de dos estrategias educativas sobre el doblaje de alambres:

Realidad Aumentada y explicación verbal (tradicional) presencial, mejora el tiempo en el doblaje de alambre y la habilidad manual sobre este procedimiento en el estudiante de ortopedia funcional y ortodoncia?

Objetivo general de la investigación:

Determinar la efectividad de la Realidad Aumentada como apoyo a los procedimientos de doblaje de alambres en la preclínica de ortodoncia, mediante la utilización de esta en el proceso educativo.

Objetivos específicos:

Establecer los contenidos temáticos sobre el doblaje de alambres en ortodoncia; diseñar, una aplicación de la Realidad Aumentada como apoyo a los procedimientos de doblaje de alambres en la preclínica de ortodoncia; implementar y evaluar la aplicación en los procesos cognitivos sobre el doblaje de alambres; y determinar la efectividad de la Realidad Aumentada versus clase tradicional en los procesos cognitivos sobre el doblaje de alambres.

2. MARCO TEÓRICO

Los alambres en ortodoncia son hilos metálicos de acero inoxidable o de metal precioso de dimensiones y grados [10] con múltiples usos, en ortodoncia son utilizados para proveer las fuerzas que generan el movimiento dental; estas diferentes fuerzas que el alambre almacena en virtud de su posición y su composición son liberadas lentamente estimulando el ligamento periodontal, produciendo cambios a nivel biológico, químico, celular y molecular permitiendo el movimiento del diente [11].

Los alambres se han utilizado como aditamentos para influir en la posición de los dientes. Desde el siglo XVIII con la invención del arco vestibular (compuesto de una aleación de plata, níquel o platino, oro de grueso calibre 0.032 a 0.036

pulgadas), los dientes eran ligados a este arco que servía como base para su alineación, sin embargo, producía movimientos de inclinación [12].

Hacia los años veinte Edward Angle invento los brackets de canto con metales preciosos como el oro y la plata alemana, siendo más flexibles; no obstante no cumplían todos los requisitos para realizar un tratamiento adecuado [13].

En la década de los treinta, aparecen los arcos de acero inoxidable de hierro, carbono, níquel y cromo con propiedades superiores a los metales preciosos, en lo que atañe al módulo elástico, rango de trabajo y ductibilidad; en esa misma década se crearon las tiras de acero inoxidable templado y se introdujeron los flujos de fluoruros permitiendo una soldadura eficaz. A la par de esto, el avance en la metalurgia permitió crear alambres redondos, cuadrados, rectangulares y trenzados con variaciones controladas de dureza y resiliencia. En los años cincuenta un nuevo alambre se presentó en ortodoncia con unas características similares al acero, en cuanto a rigidez, y los fabricaban en cuatro tipos de resiliencias. El níquel titanio creado por la marina americana en los años sesenta por William Bühler fue utilizado en los años setenta por Andreasen G., quien lo empleó como arcos para ortodoncia con el nombre de Nitinol.

Es de destacar que las propiedades ideales de un alambre en ortodoncia son: biocompatibilidad, gran elasticidad y deflexión, estético, bioinerte, no adherente a placa bacteriana, económico, biocompatible, resistente a la corrosión y fractura, además de una baja fricción superficial [14].

Como se mencionó anteriormente, los alambres de ortodoncia pueden estar compuestos de diferentes metales como oro, acero y aleaciones de cromo-cobalto, Elgiloy, NiTi, TMA y Níquel-Titanio superelástico entre otras.

Los movimientos en ortodoncia, como los del tercer orden o troques, son el resultado de las fuerzas generadas por los alambres [10], transmitidos al diente por el bracket; estos movimientos se producen en los tres planos del espacio [11], [12]. Los alambres usados en ortodoncia tienen la capacidad de almacenar y liberar energía, la cantidad de energía liberada por un alambre depende de la deformación elástica que se haya conferido al alambre y el módulo elástico propio de cada alambre, siendo mayor el del acero que el del TMA. Este el caso que se realizará en el estudio de Realidad Aumentada, donde solo se aplicará al torque dado por alambres de acero deformados elásticamente.

Se define torque como la rotación buco lingual de las raíces de un diente o grupo de dientes sobre sus ejes, por acción de un alambre cuadrado o rectangular, esta acción es una cupla, que se crea entre las paredes de la ranura del bracket y las aristas del alambre [12].

El torque en ortodoncia es sinónimo de momento de torsión en física, la unidad de medida del momento de torsión se da en gramos por milímetro (g/mm) o Newtons por milímetro (N/mm).

Existen dos tipos de torques según la dirección de la raíz, el positivo y el negativo, el positivo da una inclinación palatina o lingual a la raíz, mientras que el negativo se da cuando la raíz se inclina hacia el vestibular. Además se clasifica según la cantidad de dientes en individual: continuo o progresivo; el primero de ellos cuando solo se inclinan las raíces de un solo diente, mientras que el continuo se produce cuando se inclinan las raíces de un grupo de dientes, la misma cantidad de grados se utiliza en los dientes anteriores y superiores. Por último, el progresivo se da cuando se inclinan las raíces desde los caninos hasta los molares, siendo mayor el grado de inclinación en los molares, y se crea dando una torsión en espiral hacia los molares [11].

Así, el conocimiento y manejo de los torques en alambres de acero o TMA, es de vital importancia para el estudiante de la Especialización de Ortopedia Funcional y Ortodoncia, debido a que las técnicas modernas de arco recto donde los torques están incluidos en el bracket, en muchos casos no logran dar las inclinaciones adecuadas y se debe recurrir a torques aplicados con alambres de acero o TMA [13], [14].

A pesar de la escasa bibliografía encontrada, autores como Crengut et al. [25] utilizaron las tecnologías de realidad virtual y aumentada en la simulación de tratamiento de prótesis dentales fijas por medio del proyecto VirDenT, con la finalidad de aumentar la calidad del proceso educativo en las facultades de odontología, ayudando a los estudiantes a aprender cómo se preparan los dientes para restaurarlos con coronas de cerámica sin metal. Suebnukarn S, et al. [26] realizaron la medición del proceso, el resultado y el rendimiento de prostodoncistas expertos y estudiantes aplicando un sistema de realidad virtual táctil en la preparación de una corona, reportaron que la comparación entre los grupos con respecto al rendimiento y la preparación de la corona fueron estadísticamente significativos ($p < 0.05$). Ghanai S. et al. [27] desarrollaron una aplicación de un articulador en 3D para simular el tratamiento en pacientes que requirieron cirugía ortognática; aunque el sistema puede reproducir el tratamiento previsto presenta fallas en el movimiento del paciente en la toma de rayos X, en la ubicación de los puntos utilizando diferentes modelos de yeso y en la marcación de los puntos en las imágenes.

La Realidad Virtual es una técnica en la que se trata de lograr una inmersión de un individuo en un ambiente tridimensional generado por computador. Esta idea fue concebida en los años sesenta por Ivan Sutherland, quien fue el primero en lograr la creación de un espacio "real", en el cual el usuario podría moverse y navegar de manera similar a la

vida real. "Su idea inicial constaba de un casco que proyectaba el mundo sobre los ojos del observador, y que registraba los cambios en su posición para actualizar la vista del usuario" [29].

Después de esto se hicieron varios ajustes sobre lo ya implementado con el propósito de hacer parecer más real esta técnica, básicamente lo que busca la realidad virtual es "engañar a los sentidos, de forma que se haga creer al usuario que se encuentra delante de una realidad, que solo existe en la memoria de una máquina y no tiene correspondencia con ningún objeto material o existencia real" [30]. Gracias a los avances en las redes de computadores y la implementación del Internet se ha podido avanzar en estas áreas tecnológicas.

Fue entonces en 1994 durante una Conferencia Europea sobre Web, que Tim Berners-Lee hizo la presentación de una propuesta que buscaba el modelado de mundos virtuales creando un lenguaje para dicho fin, que pudiera hacer los mundos virtuales navegables a través de la internet. De ahí se deriva la realidad virtual no inmersiva, titulada así porque no le permite al usuario tener conexiones sensoriales con su implementación, sino que le brinda al usuario un mundo virtual, el cual puede explorar a través de internet pero sin apartarse de la realidad.

Realidad aumentada: El término fue acuñado en el año 1992 por Caudell [15], y se diferenció de la realidad virtual solo hasta el año 1997 en el estudio que realizó Ronald Azuma [16], donde expone que la Realidad Aumentada es una variación de la realidad virtual, en la que se sumerge al usuario en el mundo virtual con el real, de tal forma que este último está presente todo el tiempo, mientras que en la realidad virtual el usuario no percibe el mundo real. Como ejemplo se plantea la película "¿Quién engañó a Roger Rabbit?" que es una mezcla entre los real y virtual.

3. EL DISEÑO INSTRUCCIONAL

3.1. El diseño instruccional: la teoría de David Merrill

En el artículo titulado “Modelos instruccionales en el aprendizaje en red, una mirada a las arquitecturas de los cursos virtuales y sus tendencias” [33] se hace una síntesis de lo que es el diseño instruccional planteado por David Merrill [17] y su grupo de investigación. Para la investigación es importante estructurar el curso de acuerdo con el diseño instruccional que utilizará el ambiente de Realidad Aumentada, por ello se fundamenta en el hecho de que esta tecnología apoya los procesos educativos, en especial los que tienen que ver con el doblaje de alambres a nivel ortodóntico.

En el modelo de Merrill [33] [17] se considera la segunda generación del Diseño Instruccional (ID2) con diversos propósitos y fases que hacen funcional su aplicación. El modelo propuesto del ID2 está conformado por la *motivación* que debe realizar el ambiente educativo para invitar a la población a interesarse por conocer más sobre un tema determinado; la *orientación* que se fundamenta en los aspectos teóricos del tema a desarrollar en el ambiente; la *aplicación* que se basa en glosarios, ejemplos, ejercicios que ayudan a la comprensión teórica; y la *retroalimentación*, que permite apoyarse en evaluaciones, test, progresos y mejoras al proceso del ambiente educativo.

Para el ID2, adicionalmente, se propone llevar a cabo varias actividades adicionales al proceso del ambiente educativo por desarrollar y que se estructuran en el artículo en mención [34] [17], tal es el caso de la retroalimentación, la evaluación, la caracterización del instructor y el estudiante, así como determinar la estructura de la plataforma donde funcionará el ambiente educativo.

4. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS)

La metodología que se utilizará para el desarrollo de la investigación es un tipo de estudio basado en un ensayo clínico aleatorizado. La población objetivo son estudiantes de la Especialización de Ortopedia Funcional y Ortodoncia. Los criterios de selección fueron la inclusión, que se refiere a aquellos que asistieron a las preclínicas de ortodoncia y los que desearan participar en el estudio; la exclusión, que fueran estudiantes repitentes en la preclínica de ortodoncia. Para la muestra se utiliza un muestreo aleatorio simple.

Hipótesis:

- H0: La efectividad de la aplicación de la Realidad Aumentada, como apoyo a los procedimientos de doblaje de alambres en preclínica de ortodoncia, es igual a la efectividad de los procedimientos de doblaje de alambres explicados en forma tradicional en la preclínica de ortodoncia.
- HA: La efectividad de la aplicación de la Realidad Aumentada, como apoyo a los procedimientos de doblaje de alambres en preclínica de ortodoncia, es diferente a la efectividad de los procedimientos de doblaje de alambres explicados en forma tradicional en la preclínica de ortodoncia.

Procedimiento:

La investigación se realiza en tres fases:

- Fase 1. Diagnóstico de necesidades

Se utiliza la técnica de grupo focal [19] con los estudiantes de la preclínica de ortodoncia, a fin de conocer cuál información referente al doblaje de alambres sería la más indicada para

desarrollar en una estrategia educativa que utilice la Realidad Aumentada. Se analizaron aspectos como: dificultad en el aprendizaje del doblaje de alambres (Figura 1), temas de difícil comprensión, dificultad en el desarrollo de talleres sobre doblaje de alambres e identificación de los problemas más frecuentes en el doblaje de alambres que permitan ser solucionados con el apoyo de dicha herramienta; el proceso de análisis de los datos de este grupo focal permitirá la organización de los mismos en categorías de análisis que servirán como base para priorizar el tema sobre doblaje de alambres, que se organizará en una o varias unidades temáticas para el diseño y desarrollo de la herramienta de Realidad Aumentada.

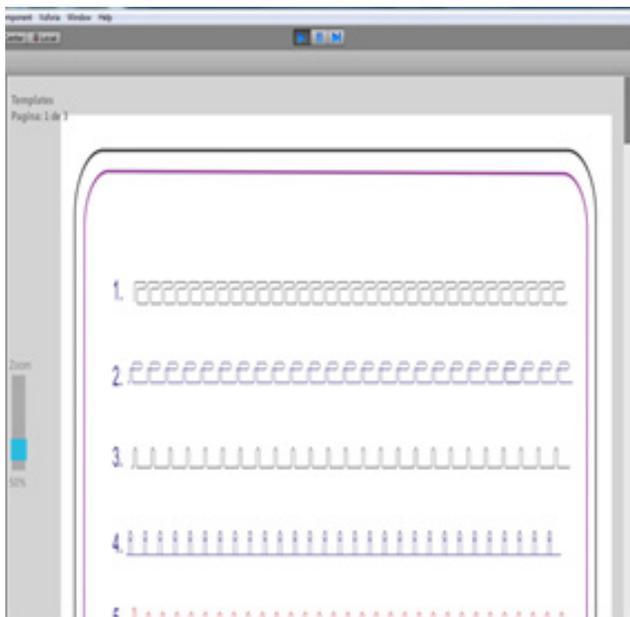


Figura 1. Ejemplo de doblajes de Alambres-Patrones.

- Fase 2. Diseño y desarrollo de la herramienta de Realidad Aumentada

Elementos para el desarrollo de un proyecto con Realidad Aumentada. Para poder hacer uso de la Realidad Aumentada se necesitan una serie de elementos y dispositivos. Los

imprescindibles son un monitor, una cámara, y software como c# scripts, librerías de Unity 3d, otros como ARviewer, ARToolkit [20].

Otros elementos importantes para el desarrollo de la Realidad Aumentada son:

Marcadores: los marcadores básicamente son imágenes de símbolos que el software interpreta y de acuerdo a un marcador específico realiza una respuesta específica. Es un recurso muy utilizado que se está imponiendo actualmente. Hay diversos tipos de marcadores, los más comunes son los llamados marcadores de códigos matriciales. Este tipo de códigos no fue diseñado para el uso en la Realidad Aumentada, si no que dichos códigos fueron inventados para ser el equivalente al código de barras. Se decidió crear porque el código de barras al ser leído genera una serie de números que se buscan en una base de datos para relacionarlo con el producto. Pero el problema reside en que hay muchos productos y sus números pueden repetirse de código mundialmente. Un código QR es un código matricial, es un código de barras de dos dimensiones desarrollado en Japón en 1994 por Denso-Wave [21] para el seguimiento de los repuestos en la producción de automóviles.

Métodos de visualización. Los métodos de visualización de la Realidad Aumentada y la virtual se parecen bastante. Ambas necesitan un dispositivo para poder visualizar los elementos virtuales. En el caso de la RA [22], el monitor sería el dispositivo de uso más frecuente para poder mezclar realidad y ficción. Aunque cada día la lista es más larga incluyéndose muchos más dispositivos, como pueden ser cascos (headsets), gafas, móviles (smartphones) e incluso displays espaciales, sea cual sea el dispositivo de visualización todos se rigen por el mismo esquema, el esquema de la RA [23].

En la Figura 2 podemos ver un ejemplo de uso de marcadores paso a paso para el doblaje de alambres utilizando Unity 3D

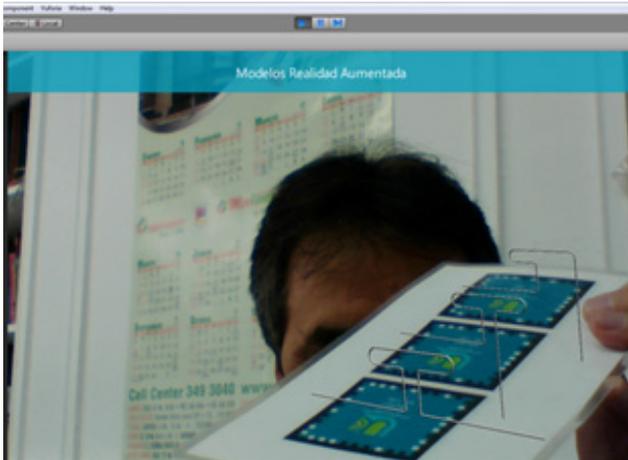


Figura 2. El doblaje de alambres con Realidad Aumentada.

- Fase 3. Para la implementación y evaluación se seleccionará la muestra de estudiantes de preclínica de ortodoncia que cumplan con los siguientes criterios de inclusión: que asistan a las preclínicas de ortodoncia. Y deseen participar en el estudio. Se excluirán aquellos estudiantes que sean estudiante repitentes en la preclínica de ortodoncia; posteriormente se hará la aleatorización de la muestra a través del programa Microsoft Excel en grupo 1 o experimental y grupo 2 o control. Antes de iniciar el experimento, el docente realizará un ejercicio sobre doblaje de alambres y calificará a cada uno de los estudiantes con una escala de bueno (si el doblaje del alambre coincide exactamente con una plantilla elaborada para tal fin y que después corresponderá con la utilizada en la herramienta de Realidad Aumentada); regular (si a pesar de coincidir se encuentran errores de doblaje); y malo (si no coincide y presenta errores de doblaje). Los resultados serán diligenciados en un formato Microsoft Excel elaborado para tal fin por los investigadores.

1. Grupo experimental 1: los estudiantes recibirán durante la preclínica como apoyo al doblaje de alambres la herramienta de Realidad Aumentada, que pueden consultar las veces que quieran. Al final del proceso el docente hará una evaluación práctica sobre el procedimiento explicado en la clase a través de la herramienta y calificará como bueno (si el doblaje del alambre coincide exactamente con el ejemplo de Realidad Aumentada); regular (si a pesar de coincidir se encuentran errores de doblaje); y malo (si no coincide y presenta errores de doblaje). Los estudiantes que lo hagan entre excelente y bueno recibirán un estímulo positivo (un punto de calificación en la clase que será acumulativo), a los estudiantes que se les califique malo, se les dará la oportunidad de repetir el procedimiento, pero sin ningún puntaje como estímulo.

2. Grupo 2 o control: los estudiantes recibirán durante la preclínica como apoyo al doblaje de alambres la explicación verbal por parte del docente. Al final del proceso el docente hará una evaluación práctica sobre el procedimiento explicado en la clase y calificará como bueno (si el doblaje del alambre coincide exactamente con el ejemplo de Realidad Aumentada); regular (si a pesar de coincidir se encuentran errores de doblaje); y malo (si no coincide y presenta errores de doblaje). Los estudiantes que lo hagan entre excelente y bueno recibirán un estímulo positivo (un punto de calificación en la clase que será acumulativo), a los estudiantes que se les califique malo, se le dará la oportunidad de repetir el procedimiento explicándoles nuevamente el docente, pero sin ningún puntaje como estímulo. No se informará a los estudiantes que se trata de un experimento ni tampoco que serán evaluados. Todos tendrán el mismo número de sesiones (tres) y trabajaran con el mismo tipo de material, la única diferencia estará en la aplicación de las estrategias.

Terminada la fase de implementación y evaluación se procederá a hacer el análisis estadístico de los resultados, las variables cualitativas como sexo y doblaje de alambres serán analizadas con estadística descriptiva (porcentaje), y para la comparación de grupos se utilizará CHI cuadrado.

Aspectos éticos: según la resolución 008430 de 1998 se clasifica como una investigación sin riesgo.

Análisis estadístico: las variables cualitativas se analizarán con estadística descriptiva (porcentajes y proporciones, razones) y las variables cuantitativas con promedio y desviación estándar. Para la comparación de las variables cualitativas se aplicará la prueba de Chi Cuadrado χ^2 .

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los resultados obtenidos en el grupo focal, se presentan algunas consideraciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la estrategia de apoyo educativo basada en Realidad Aumentada para la preclínica de ortodoncia.

5.1. Dificultades en el aprendizaje

El proceso enseñanza–aprendizaje en la preclínica de ortodoncia se da en un escenario donde confluyen factores como la necesidad del estudiante de desarrollar y entrenarse en habilidades técnicas para aplicar en la clínica, y la relación del alumno con el docente que guía el proceso; los participantes en el grupo focal plantean como problema la distribución del tiempo en la preclínica, aunque concuerdan la mayor parte de los estudiantes en que la habilidad del doblaje se relaciona con la práctica autónoma y la técnica para hacerlos. Sin embargo, llama la atención que uno de ellos manifiesta que la dificultad de aprendizaje radica en el diseño y preparación de las clases; es de notar

que la mayoría de los participantes mencionaron que les gustaría contar con más intensidad horaria en las preclínicas de ortodoncia.

Se sugiere que a partir de lo planteado se cuente con una capacitación en docencia impartida por la Facultad de educación de la Universidad Cooperativa de Colombia, que apoye la organización metodológica de la cátedra de preclínica en ortodoncia, con el fin de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y así minimizar las dificultades de aprendizaje planteadas por los estudiantes.

5.2. Inconvenientes en la elaboración de ansas y figuras

En relación con los inconvenientes en la elaboración de ansas y figuras los estudiantes manifestaron la gran dificultad en la confección de las ansas utilizadas en la alineación y nivelación, especialmente en caja modificada, verticales con helicoides y ansas de cierre en T. Se destaca lo expresado por algunos de los participantes quienes manifestaron la dificultad en hacer el torque, dobleces de Meaw y dobleces de tercer orden consecutivo; en la actividad del grupo focal se evidenció una plantilla de figuras para hacer los ejercicios que son dados por el docente de la preclínica, no se encontró una guía o texto que permitiera al estudiante comprobar el paso a paso en la elaboración de las ansas y/o figuras; al ser esta una cátedra teórico-práctica es importante estar al tanto de que toda actividad propiamente humana, como la actividad práctica, exige el conocimiento teórico de lo que se va a realizar. Hoy en día la enseñanza promueve que los alumnos se apropien de manera consciente de conceptos teóricos que les permitirán operar estableciendo nexos y relaciones sobre la temática tratada, lo cual favorecerá que el aprendizaje adquirido tenga significado y sentido [32].

De acuerdo con los resultados obtenidos se sugiere elaborar una guía didáctica que incluya un

resumen de la teoría sobre ansas en ortodoncia y los pasos esenciales en la elaboración de ansas de alineación y nivelación.

5.3. Sugerencias para mejorar la práctica

Al ser indagados los estudiantes sobre sugerencias para mejorar la práctica, el 80% estuvo de acuerdo en tener alguna herramienta tecnológica para explicar los pasos para la elaboración de las ansas, aunque no hubo seguridad sobre el tipo de herramienta a utilizar; algunos de los participantes en el grupo focal manifestaron la necesidad de contar con un tutorial o un video, solo cinco de ellos declararon no necesitar ayuda alguna. Cabe anotar que en la Especialización de Ortopedia Funcional y Ortodoncia las prácticas de la preclínica son muy importantes en el plan de estudio, dado que preparan al estudiante para el diagnóstico y plan de tratamiento de los pacientes ortodóncicos. Hasta hace poco tiempo la mayoría de prácticas en odontología general se hacían directamente sobre los pacientes, o como en el caso de anatomía sobre cadáveres y órganos, actualmente con el auge de las TIC el docente del área de la salud se enfrenta a un sinnúmero de herramientas tecnológicas que pueden ser utilizadas para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje,

algunas de ellas de uso gratuito y otras con bajos costos; entre ellas se encuentra la aplicación de la Realidad Aumentada en el área odontológica que permite el trabajo autónomo del estudiante para lograr un objetivo de aprendizaje donde medie esta herramienta.

Una vez analizados estos resultados, se propone la elaboración de un video con los pasos básicos para la elaboración de ansas de alineación y nivelación, además de una aplicación de comprobación de dichas ansas con mediación de la Realidad Aumentada, lo que permitirá optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje en la preclínica de ortodoncia en cuanto al manejo de alambres.

5.4. Diseño del Ambiente de Realidad Aumentada-RA

Para el diseño del Ambiente de RA se utilizó como guía la metodología de Rational Unified Process-RUP, de la cual se listan los casos de uso más relevantes del aplicativo que se pueden ver en el Cuadro 1.

Los cuadros 2 a 7 muestra la descripción de cada caso de uso, Pq P01.

Cuadro 1. Lista de casos de uso por paquetes. Paquete: P01 – Modelos AR.

COD	Nombre	Descripción
CUS01	Inicializar componentes.	El sistema inicializa los componentes necesarios para colocar en funcionamiento la aplicación.
CUS02	Cargar ventana principal.	El sistema carga la interfaz de usuario y valida que los componentes necesarios están en correcto funcionamiento.
CUS03	Cargar ventana modelos AR.	A partir de la cámara integrada en el dispositivo el sistema detecta si existe algún marcador.
CUS04	Detectar marcador.	A partir de la cámara integrada en el dispositivo el sistema detecta si existe algún marcador.
CUS05	Cargar modelo.	A partir del marcador detectado por la cámara, el sistema carga en tiempo de ejecución el modelo 3D que corresponde al marcador detectado.
CUS06	Cerrar ventana modelos AR.	El actor cierra la ventana de modelos AR

Cuadro 2. Caso de uso inicializar componentes. Actor: Usuario.

No.	Curso normal	No.	Alternativas
1	El actor ejecuta la aplicación		
2	La aplicación carga componentes y recursos necesarios		

Cuadro 3. Caso de uso: Cargar ventana principal. Actor: Usuario.

No.	Curso normal	No.	Alternativas
1	La aplicación carga la ventana principal		

Cuadro 4. Caso de uso: Cargar ventana modelos AR. Actor: Usuario.

No.	Curso Normal	No.	Alternativas
1	El actor presiona el botón [Modelos RA].	1.1	Si el sistema operativo no es compatible con la librería de Realidad aumentada, se le informa al actor.
2	Encender cámara.	2.1	Si el sistema no cuenta con cámara, se le informa al actor.

Cuadro 5. Caso de Uso: Detectar marcador. Actor: Usuario.

No.	Curso Normal	No.	Alternativas
1	El sistema por medio de la cámara captura una imagen.		
2	A partir de la imagen capturada, el sistema valida si existe algún marcador dentro de ella.		
3	El sistema obtiene el identificador del marcador.		
4	El sistema rastrea la posición del marcador y obtiene las coordenadas X, Y y Z del mismo.		

Cuadro 6. Caso de Uso: Cargar modelo. Actor: Usuario.

No.	Curso Normal	No.	Alternativas
1	A partir de la información obtenida en el caso de uso "Detectar marcadores", el sistema consulta en la base de datos la información del modelo 3D a cargar.	1.1	El marcador identificado no existe y/o no se encontró información del archivo 3D en la base de datos.
2	A partir de la información obtenida en la base de datos se valida si el archivo 3D existe en el sistema.	2.1	El archivo 3D no existe en el sistema.
3	El sistema carga el archivo 3D en las coordenadas obtenidas en el caso de uso "Detectar marcadores".		

Cuadro 7. Caso de uso Cerrar Ventana. Actor: Usuario.

No.	Curso Normal	No.	Alternativas
1	El actor presiona el botón [Cerrar].		
2	El sistema apaga la cámara.		
3	El sistema libera de la memoria los componentes y recursos utilizados.		
4	El sistema carga la ventana principal.		

En forma de diagramas de UML se representan los diagramas de caso de uso para el Paquete P01, Figura 3.

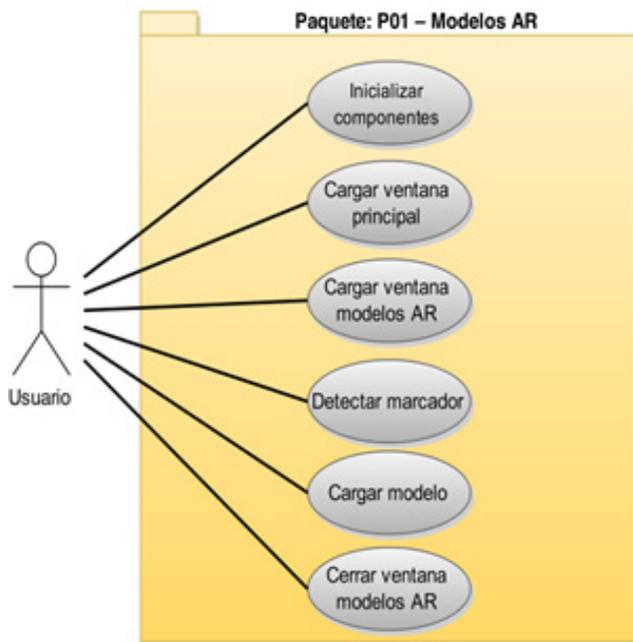


Figura 3. Diagrama de casos de uso por paquetes.

Para trabajar adecuadamente la RA utilizando Unity 3D se hace necesario trabajar el SDK de Vuforia, como se ilustra en la Figura 4.

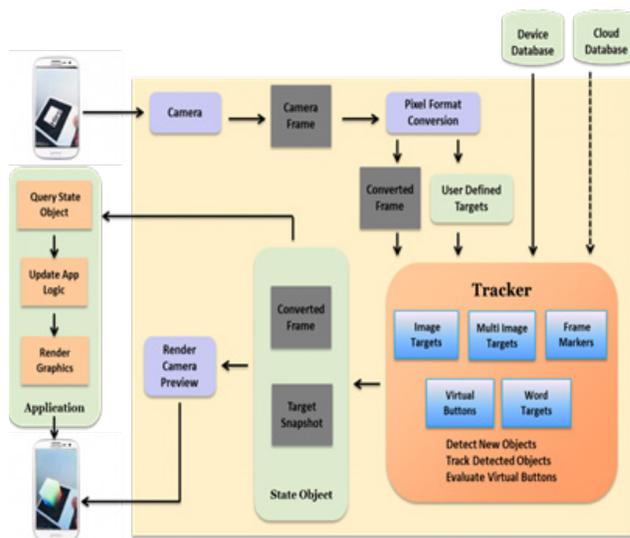


Figura 4. Diagrama de Flujo de datos Vuforia SDK.

6. CONCLUSIONES

Se aplicó la metodología de grupo focal para diagnosticar la necesidad de contar con una estrategia educativa mediada por las TIC como apoyo a la preclínica de ortodoncia. Se identificaron las dificultades de aprendizaje, los inconvenientes en la elaboración de ansas y las sugerencias de los estudiantes para mejorar las prácticas en la elaboración de ansas y figuras en ortodoncia. A partir de los resultados del grupo focal se definió el tema a tratar en la herramienta mediada por Realidad Aumentada, que fue la comprobación de las ansas de alineación y nivelación.

Las recomendaciones desde el estudio se relacionan con la elaboración de una guía didáctica para la preclínica de ortodoncia, un video de pasos básicos para la elaboración de ansas de alineación y nivelación, así como una herramienta de comprobación en la elaboración de las ansas de alineación y nivelación mediada por la Realidad Aumentada. El ambiente en Realidad Aumentada se creó conforme al diseño instruccional propuesto. Actualmente estamos en la etapa de aplicación del ambiente a los cursos que hacen parte de la investigación, esto es: los estudiantes de la Especialización en Ortodoncia y Ortopedia de la UCC. Con esta aplicación esperamos en una próxima publicación mostrar los resultados finales del estudio.

7. REFERENCIAS

- [1] L. Bravo, *Manual de Prácticas de Ortodoncia*. Murcia, Universidad de Murcia. Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico, Impreso en Poblagrás S.A., 1993.
- [2] M. Delgado y X. Arrieta, "Uso de las TIC en educación, una propuesta para su optimización". *Rev. Omnia*, vol. 15, no. 3, pp. 58-77, 2009.
- [3] C. García, L. Villareal y A. Guzmán A, *Diseño didáctico soportado en el uso de Tecnologías de Información y Comunicación para la enseñanza de principios y conceptos de biomecánica en la formación de estudiantes de ortodoncia de la Universidad Cooperativa de Colombia*. Trabajo de grado, Especialización en Ortopedia Funcional y Ortodoncia, Bogotá D.C., Universidad Cooperativa de Colombia, 2007.
- [4] J. Alzate, M. Bastidas, C. Grijalba, M. Delgado y C. Salamanca, *Recurso multimedia para la enseñanza de alambres en ortodoncia*. Trabajo de grado, Especialización en Ortopedia Funcional y Ortodoncia, Bogotá D.C., Universidad Cooperativa de Colombia, 2007.
- [5] S. Collantes, J. González, M. Hernández y L. Vanegas, *Diseño de un CD multimedia educativo de los diferentes dobles en ortodoncia*. Trabajo de grado, Especialización en Ortopedia Funcional y Ortodoncia, Bogotá D.C., Universidad Cooperativa de Colombia, 2008.
- [6] X. Basogain, M. Olabe, K. Espinosa, C. Rouèche y J. Olabe, *Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente*. Information and Communications Technology, ESIGELEC – Rouen, France Electrical and Computer Engineering, CBU (USA), [en línea] Bilbao, Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, Disponible en: [EHUBilbao, Spainxabier.basogain@ehu.es](mailto:EHUBilbao_Spainxabier.basogain@ehu.es) <http://multimedia.ehu.es>. [Consultado el 26 de febrero de 2013]. 2007
- [7] E. Pérez, "Nuevas aplicaciones multimedia en el ámbito de la educación a distancia (Realidad Aumentada)". *Boletín Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia (SUAYED)*. Universidad Nacional Autónoma de México, no. 32, jun-jul, 2011, [en línea], disponible en: <http://www.cuaed.unam.mx/boletin/boletinesanteriores/boletinsuayed32/multimedia.php> [Consultado el 26 de febrero de 2013]
- [8] J. Salmeron, *Primera experiencia internacional del uso de Realidad Aumentada en ámbito de la implantología*. [en línea]. Consultado el disponible en: <http://www.scoop.it/t/>

- [robo-tips/p/3335753046/2012/11/14/odontologia-robotica-en-odontosalud-video-2](#) [Consultado el 26 de febrero de 2013]
- [9] Perez, G. Apoyos Virtuales a la academia en la Universidad Cooperativa de Colombia. Periódico El Universitario, no. 010, mayo-junio, 2012.
- [10] Nanda R. Biomecánicas y estética, estrategias en ortodoncia clínica-amolca, 2007.pag 1.
- [11] Uribe R G. Ortodoncia teoría y clínica, CIB, 2004, pages 170.
- [12] B. Kang, S. Back, J. Moh y W. Yang, "Three dimensional relationship between the critical contac angle and the torque angle". AJODO, no. 123, pp. 64- 73, 2003.
- [13] J. Gregoret, E. Tuber y L. Escobar, El tratamiento ortodóncico con arco recto, Editorial: NM ediciones, pag 214-215.2003
- [14] J. Bennett y R. McLaughlin, "Manejo ortodóncico de la dentición con el aparato preajustado". *Isis medical*, no. 144, pp. 56-58, 1997.
- [15] R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality". *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, nº4, pp. 355-385, 1997, [en línea]. Consultado el 26 de febrero de 2013, disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.35.5387&rep=rep1&type=pdf> [consultado: 26.02.2013].
- [16] T. Caudell, y D. Mizell, "Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes". *International Conference on System Sciences, Kauai, Hawaii*, no. 2, pp.659-669, 1992, [en línea]. Consultado el 26 de febrero de 2013, disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00183317>
- [17] D. Merrill, *Educational Technology*, New York, Li & Jones, 1991.
- [18] IBM-RUP, Rational Unified Process Herramientas para configurar RUP. [en línea]. Consultado el 18 de mayo de 2014, disponible en: <http://www-306.ibm.com/software/ar/rational/rup.shtml>. 2008
- [19] S. Bertoldi, M. Fiorito y M. Álvarez, "Grupo Focal y Desarrollo local: aportes para una articulación teórico-metodológica". *Ciencia, Docencia, Tecnología., Concepción del Uruguay*, no. 33, nov. de 2006, [en línea]. Consultado el 22 de marzo de 2013, disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162006000200005&lng=es&nrm=iso
- [20] M. Machado, Aplicación de la Realidad Aumentada para un sistema de entrenamiento. Director: Pau Fonseca i Casas, Consultado el 18 de junio 2014 disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bits-tream/2099.1/12455/1/73347.pdf>. 2011
- [21] Programa de Maestría en Ingeniería Civil (MS)., [en línea]. Consultado el 18 de junio de 2014, disponible en: <http://www.tech-tear.com/2008/03/28/codigos-qr-%C2%BFque-son-%C2%BFpor-que-existen-y-mas>. 2012
- [22] N. Theodoros, J. Arvanitis, F. Knight y M. Gargalakos, "Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities". *Springer-Verlag London Limited*, no. 20, nov. of 2007.
- [23] T. Starner, S. Mann, B. Rhodes, J. Levine, J. Healey, D. Kirsch, R. Picard y A. Pentland, "Augmented reality through wearable computing". *Presence*, no. 6, pp. 386-398, 1997.
- [24] H. Kaufmann y D. Schmalstieg, "Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality". *Comput Graph*, vol. 27, no.3, pp. 339-345, 2003.
- [25] M. Crenguta y M. Dorin, "Information system analysis of an e-learning system used for dental restorations simulation". Editorial: Elsevier. journal: *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 107, no. 3, pp. 357-366, September, 2012 [DOI:10.1016/j.cmpb.2011.02.007].
- [26] S. Siriwan, P. Nattharat, S. Sunantha, R. Phattanon, H. Peter. Process and outcome mea-

- asures of expert/novice performance on a haptic virtual reality system. Editorial Elsevier. Journal of Dentistry. vol. 37, no. 9, Septiembre 2009 [doi:10.1016/j.jdent.2009.04.008](https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.04.008)
- [27] S. Ghanai, R. Marmulla, J. Wiechnik, J. Mühling y B. Kotrikova, "Computer-assisted three-dimensional surgical planning: 3D virtual articulator: technical note". *Int. J. Oral Maxillofac, Editorial : Elsevier. Vol 39. No 1, January 2010.* , pp. 75–82. 2010. Journal:
- [28] D. Ausubel, Teoría del aprendizaje significativo, [en línea]. Consultado el 24 de octubre de 2013, disponible en: <http://www.Educainformatica.com.ar/docentes/tuarticulo/educación/Ausubel/index.html>.
- [29] P. Wightman, G. Galvis y D. Jabba, *Ambientes de realidad virtual no inmersiva multiusuario con herramientas de software libre*. Consultado el 24 de octubre de 2013. Disponible en: http://www.cse.usf.edu/~pedrow/files/Paper_PW_GG.pdf.2004
- [30] R. Mollá, *Documentos de Clase*. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 1999.
- [31] S. Bernal, ¿Qué es la realidad aumentada?, [en línea]. Consultado el 24 de octubre de 2013, disponible en: <http://www.maestros-delweb.com/editorial/que-es-realidad-aumentada/>
- [32] J. Balzán, "Estructura didáctica de la práctica profesional odontológica (relación objetivo contenido-método)". *Educere*, vol. 16, no. 54, pp. 113-30, 2012.
- [33] J. Cortes y O. Lozano, "Modelos instruccionales en el aprendizaje en red, una mirada a las arquitecturas de los cursos Virtuales y sus tendencias". *Revista Ingeniería Solidaria*, vol. 8, no. 14, pp. 47-48, enero-junio, 2012.
- [34] V. Aggarwal. How to create an augmented reality APP. Consultado el 15 de Mayo de 2014. Disponible en: <http://www.3pillarglobal.com/insights/how-to-create-an-augmented-reality-app>





Sistema de transporte y embalaje utilizando robótica cooperativa basada en teoría de colonias de hormigas mediante plataforma Mindstorm de LEGO®

Transportation and Packaging System Using Cooperative Robotics Based on Theory of Ants Colonies Using Platform LEGO® Mindstorm

Julián Rolando Camargo López¹ Nélide Johanna Hernández Suárez²
Ana del Pilar Rodríguez Tibaduiza³

Para citar este artículo: Camargo, J., Hernández, N. y Rodríguez, A. (2015). Sistema de transporte y embalaje utilizando robótica cooperativa basada en teoría de colonias de hormigas mediante plataforma Mindstorm de LEGO®. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 60-71.

Recibido: 22-abril-2015 / **Aprobado:** 29-mayo-2015

Resumen

En este artículo se presenta una propuesta que sugiere el siguiente paso evolutivo de la automatización (y más aún de la ejecución manual): la robótica cooperativa, aquí se muestra un sistema enfocado a la selección y embalaje, etapa final de la mayoría de procesos industriales. El problema fue abordado con agentes robóticos con diferentes características que trabajan emulando la organización de una colonia de hormigas, haciendo de estas etapas un proceso eficiente, eficaz y de gran flexibilidad ante los cambios de la producción.

Palabras clave: Bluetooth®, colonia de hormigas, robot autónomo, robótica cooperativa, sistema multiagente.

Abstract

This article presents a proposal that suggests the next evolutionary step of automation (and even more of manual execution): the cooperative robotics. In the next pages is presented a system of selection and packaging, which is part of the final stage of almost any industrial process. The problem was addressed with robotic agents with different features that work emulating the organization of a colony of ants making these stage efficient, effective and highly flexible in the face of production changes.

Keywords: ant colony, autonomous robot, Bluetooth®, multiagent system, robotics cooperative.

1. Ingeniero electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, especialista en Diseño y Construcción de Soluciones Telemáticas, Universidad Autónoma de Colombia, docente de planta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, miembro del grupo de investigación LASER (Laboratorio de Automatización, Sistemas Embebidos y Robótica)-Universidad Distrital Francisco José de Caldas. jcamargo@udistrital.edu.co
2. Ingeniera Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, ingeniera de implementación y soporte, Soluciones Avanzadas de Ingeniería S.A.S. (Solaing S.A.S). johanna.hernandez@solaing.com
3. Ingeniera electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. adrodriquezt@correo.udistrital.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estado del arte

Aunque la generación de soluciones de ingeniería bioinspiradas no inició en una fecha puntual, el trabajo más relevante con respecto al aquí desarrollado apareció en 1956, año en que el biólogo francés Pierre-Paul Grassé creó la teoría de Stigmergy [1], la cual modela el comportamiento de nidificación de las termitas. Gracias a este modelamiento la comunidad científica ve la posibilidad de generar soluciones a procesamientos computacionales y a sistemas robóticos y se inicia la investigación de más insectos que se organizan en colonias.

En 1991 M. Dorigo propone en su tesis doctoral [2] el primer algoritmo basado en colonias de hormigas. Fue a partir de este trabajo que se generó un interés particular por una de las características más llamativas de la organización de las hormigas: la habilidad de generar caminos con feromonas, los cuales son completamente comprensibles para toda la especie pero no significa una barrera física para otras. Inspirado en esta cualidad se pone de manifiesto en [3] una simulación de una tarea de búsqueda y recolección de elementos ejecutada por pherobots; algo relevante de este trabajo es la inclusión de algoritmos de sensación de pánico y reducción de interferencia espacial.

Otra característica importante que es emulada es la forma en la que las hormigas cooperan para construir su nido, dicho trabajo se evidencia en [4] donde tres robots cooperan para adecuar un terreno utilizando algoritmos bioinspirados. En [5] se presentan algunos algoritmos y comparaciones entre procesos realizados por estructuras que simulan el comportamiento de colonias de hormigas demostrando su eficiencia en diversas tareas, tales como encontrar el mejor camino (basado en el rastro de feromonas dejado por hormigas) y la extrema eficiencia a la hora de cargar objetos de grandes pesos relativos.

1.2. Descripción general del comportamiento de las colonias de hormigas

Inicialmente las hormigas salen de sus nidos a explorar de forma aleatoria el área cercana a su nido hasta encontrar alimento, luego evalúan la cantidad y la calidad de este tomando una muestra que será llevada hasta el nido; mientras se devuelve a su nido con la muestra, esta segrega una sustancia química en el aire llamada feromona, la cantidad de la feromona segregada dependerá de la cantidad y calidad del alimento e indica a las otras hormigas cuál es el camino que deben seguir para encontrar el alimento, para así llevarlo por completo al nido. El proceso se ha estudiado y se ha concluido que esta manera de comunicación de las hormigas les permite encontrar la ruta más corta desde el nido hasta el alimento [6].

Para que se entienda el comportamiento descrito anteriormente y la razón por la cual las hormigas toman finalmente el camino más corto, se ilustra con el siguiente ejemplo: Imagine que usted es una hormiga y sale de su nido en busca de alimento pero usted llega a un punto en que debe tomar la decisión de girar a algún lado, ya sea derecha o izquierda, como usted no siente presencia de feromona en el aire, la elección del lado al que debe girar se hace aleatoriamente. Se nombrarán R a las que se desplazan de derecha a izquierda y L a las que se desplazan de izquierda a derecha, como en la figura 1.

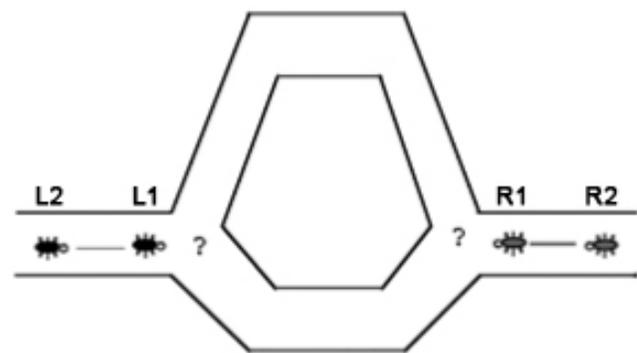


Figura 1. Hormigas a punto de tomar una decisión.

A continuación, si se supone que usted lleva la misma velocidad de todas las hormigas, en la figura 2 muestran lo que ocurre en los siguientes instantes. Si observa detalladamente las figuras, notará que se observan unas líneas punteadas en los caminos, las cuales indican la cantidad de feromonas que tanto usted como las demás hormigas han segregado.

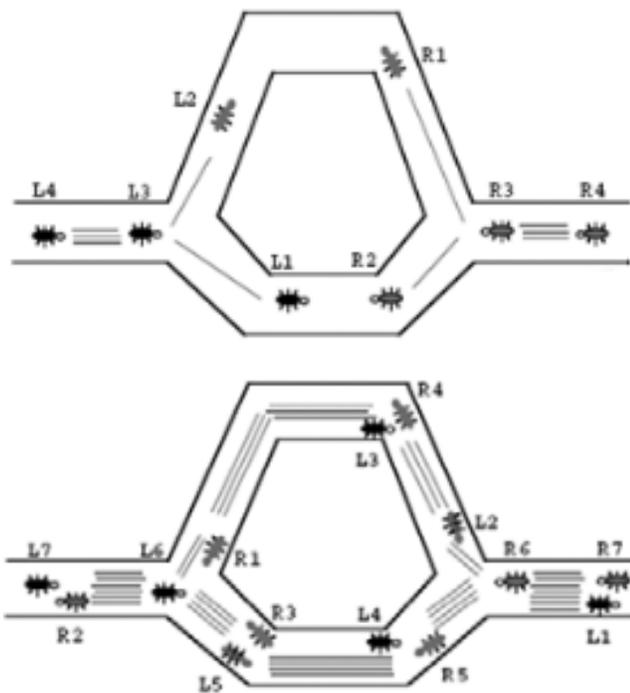


Figura 2. Elección de forma aleatoria del camino y efectos de la cantidad de feromonas que segregan las hormigas a su paso.

En la figura 2 se nota que el camino inferior es más corto que el superior, ya que muchas más hormigas transitarán por este durante el mismo periodo de tiempo, por tal motivo, en el camino más corto se acumula más feromona mucho más rápido. A medida que transcurre el tiempo, la diferencia en la cantidad de feromonas de los caminos es muy grande, por lo cual, cuando se devuelva al nido y vuelva a tomar camino hacia el alimento encontrado, ya no tendrá que tomar una decisión basado en la aleatoriedad, sino que sentirá la cantidad de feromona en el aire y tomará sin duda el camino que contenga

la mayor cantidad de feromona, que es el camino más corto hacia su alimento, como se muestra en la figura 3. Dicho fenómeno se incrementa como un efecto de retroalimentación positiva en el cual todas las hormigas utilizarán el camino más corto.

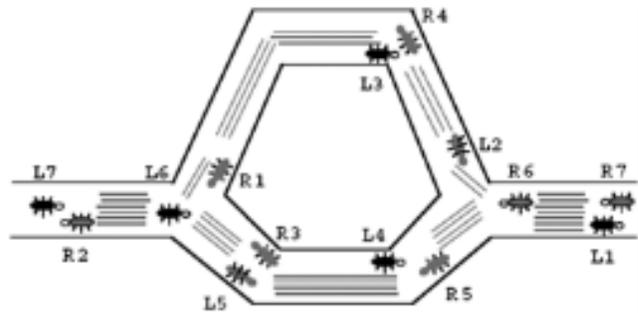


Figura 3. Acumulación de feromonas en el camino más corto.

2. LEGO MINDSTORM NXT 2.0

LEGO Mindstorm NXT es la segunda generación de productos robóticos fabricados por el grupo LEGO™, quien lanzó al mercado su primera generación en 1998, bajo el nombre de “Robotic Invention System” [7]. El impacto de esta herramienta fue tal que se incorporaron categorías de “LEGO” en reconocidas competencias a nivel mundial, como la “RoboCup” en su versión junior [8], FLL (FIRST LEGO League) y la WRO (World Robot Olympiad) [9], y se generaron diferentes simposios [10], foros y publicaciones [11] a fin de compartir resultados y diversos modelos logrados con NXT.

2.1. Unidad de procesamiento (Brick)

- Procesador principal: Atmel 32-bit ARM, AT91SAM7S256.
- Coprocesador: procesador Atmel 8-bit tipo AVR, ATmega48.
- Cuatro puertos de entrada: interfaz digital de seis hilos, soporta señales analógicas y digitales.
- Tres puertos de salida: interfaz de usuario digital de seis hilos (6-wire).

- Módulo de comunicación inalámbrica Bluetooth: CSR BlueCore™ 4 v2.0 +EDR System, soporta SPP (Serial Port Profile).
- Módulo de comunicación USB 2.0: velocidad de puerto total (12 Mbit/s).
- Pantalla: pantalla LCD de 100 x 64 píxeles monocromática.
- Parlante: canal de salida de sonido con resolución de 8 bits.

2.2 Sensores

Para comunicarse con su entorno, la CPU recibe datos de sensores tanto analógicos como digitales. Los sensores analógicos dependen de un generador de corriente incorporado en el Brick, a fin de proporcionar compatibilidad con los sensores previamente desarrollados para el ladrillo RCX. Este generador de corriente provee energía al sensor por 3 ms y luego mide el valor analógico durante los siguientes 0.1 ms. Dado que el muestreo de los sensores del LEGO Mindstorms NXT utilizando el conversor analógico/digital es simultáneo, el tiempo de muestro de estos últimos sensores debe contener el tiempo requerido por los sensores del RCX. Por esta razón, el sensor de tacto, el sensor de luz, el sensor de sonido y el sensor de temperatura (todos provenientes del NXT) son muestreados cada 3 ms. Por otro lado, los sensores digitales (incluyen un microcontrolador externo encargado del muestreo de la variable a medir) se comunican mediante el protocolo I²C. A esta categoría pertenecen la gran mayoría de sensores utilizados en el desarrollo de este trabajo.

2.3 Software

LEGO, en trabajo conjunto con National Instruments (quien a su vez desarrolla LabView), crearon un ambiente de programación llamativo y de fácil aprendizaje llamado NXT-G, que utiliza un lenguaje computacional llamado G (basado en flujo visual de datos). Es así como por medio de la unión

de bloques que representan motores, sensores y operaciones, se pueden crear programas básicos. Sin embargo, el limitado desempeño del NXT-G no permite crear y diagnosticar determinados algoritmos en tiempo real. Con el fin de mejorar el desempeño del control del robot, un número de herramientas software han sido desarrolladas y se encuentran disponibles. A continuación se enlistan algunas de ellas:

- LabVIEW Toolkit para LEGO
- BricxCC:
- pbLau
- leJOS NXJ
- Urbi

3. PROTOTIPO

Luego de múltiples pruebas se estableció que para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema, el prototipo del sistema debe estar compuesto por los siguientes elementos:

- Maqueta (entorno de trabajo).
- Agentes robóticos:
 - Agentes robóticos fijos.
 - Agentes robóticos móviles.
- Computador (HMI).

3.1. Maqueta

Es el ambiente en el cual se encuentran las unidades robóticas para desempeñar los procesos de selección, empaque y sellado de las cajas, así como su transporte y posterior ubicación. La figura 4 muestra el plano de la maqueta, en la que se resaltan seis componentes:

- Piso: garantiza un suelo plano, firme y de un color uniforme.
- Paredes: rodean la mayor parte de la maqueta y cumplen un papel fundamental para la localización de los agentes móviles.

- Almacenes: son el destino final de las cajas previamente empacadas, el robot diferencia un almacén del otro por el color del piso, ya que mientras uno es amarillo el otro es rojo.

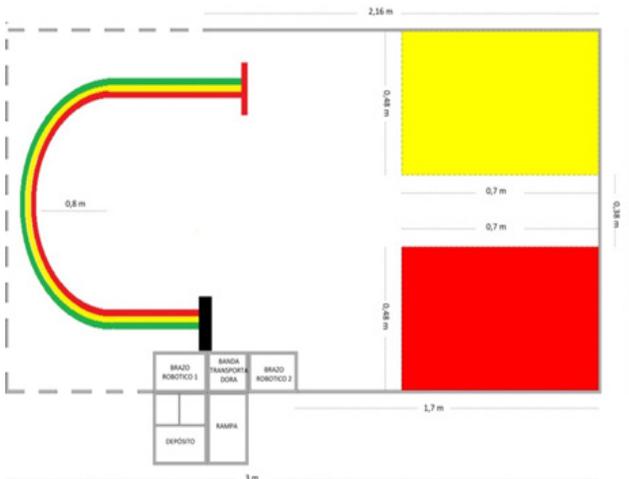


Figura 4. Plano de la maqueta del prototipo.

- Línea: garantiza que el robot adopte una posición inicial precisa y exacta, va desde la salida del área del transporte hasta la posición inicial compuesta por tres colores.
- Rampa: es la encargada de alimentar las pelotas que la banda transportadora seleccionará para empacar la caja.
- Depósito: es el lugar donde se ubican los productos finales que no fueron utilizados en la caja a transportar.

3.2. Agentes robóticos

Los agentes robóticos son los encargados de prestar servicios para garantizar el cumplimiento de cada una de las labores que se deben realizar durante los procesos de selección, transporte, embalaje y almacenamiento de objetos. Se crearon dos tipos de agentes robóticos: unidades robóticas fijas y móviles, ambas emplean las partes incluidas en el kit educativo Mindstorms de Lego®. Todos los agentes incluyen: sensores, una unidad de procesamiento y actuadores (motores).

3.2.1. Acondicionamiento de sensores

3.2.1.1. Sensor de ultrasonido

Los sensores de ultrasonido permiten al robot medir la distancia a un objeto, además de detectar posibles obstáculos. Al hacer pruebas, algunas características no coincidieron con las especificadas en el manual de usuario, tales como:

- Rango: no es posible medir una distancia inferior a 7cm. Cuando se ubica un objeto a menos de 7cm el sensor retorna el valor 255, que se genera cuando no se tiene obstáculo.
- Interferencia: la interferencia se presentaría cuando dos robots se encuentren uno en frente del otro, situación que no es factible en este sistema.
- Comportamiento en movimiento: si el sensor se somete a niveles medios o altos de vibración la medida se ve afectada, en especial cuando un objeto se encuentra entre 40 y 50 cm de distancia. Esto se solucionó ubicando los sensores en una plataforma que les proporcionó una mayor estabilidad. Adicionalmente se realizó el promedio de varias mediciones para eliminar momentos en los que los sensores no detectaron objetos.
- Variación con respecto a la forma de los objetos: la exactitud de la medición se reduce si los objetos con los que calcula su distancia poseen curvas tales como esferas o conos. Objetos muy pequeños del mismo tamaño del sensor generan alto error en la medición.

3.2.1.2. Sensor de color

Mientras que para los agentes fijos, el sensor de color permite realizar la selección de productos, para los agentes móviles es una herramienta fundamental para explorar y entender su entorno. El sensor de color utilizado fue el NXT Color Sensor V2 (NCO1038) producido por HiTechnic® para los

robots NXT. Este sensor utiliza un único LED para iluminar un objetivo y así analizar las componentes de rojo, azul y verde presentes en la luz reflejada. El sensor retorna un número entre 0 y 17 representando un color. Al realizar pruebas se comprobó un comportamiento eficiente, y muy preciso, luego de esto, se seleccionaron los colores indicados para utilizar en el prototipo (tabla 1).

3.2.1.3. Brújula

Tanto los agentes móviles como los fijos deben obtener información de su posición para efectuar movimientos. La brújula digital NXT (NMC1034) mide el campo magnético de la tierra y retorna un valor representando hacia donde apunta el sensor. El norte magnético es representado por 0° y el ángulo con respecto a este se da como un valor entre 0° y 359°. La brújula fue el sensor que mayor acondicionamiento requirió, puesto que su comportamiento no es lineal, por lo que se realizó una medición desde 0° (Norte Magnético) hasta 345° con intervalos de 15°. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 2.

A partir de estos datos se obtuvo la curva característica del sensor, y con la ayuda de Excel™ la ecuación de la curva que más se aproximaba a ese comportamiento obteniendo así la figura 5 y la ecuación (1):

$$y = 0.000005x^3 - 0,0044x^2 + 1,9108x - 4,1707 \quad (1)$$

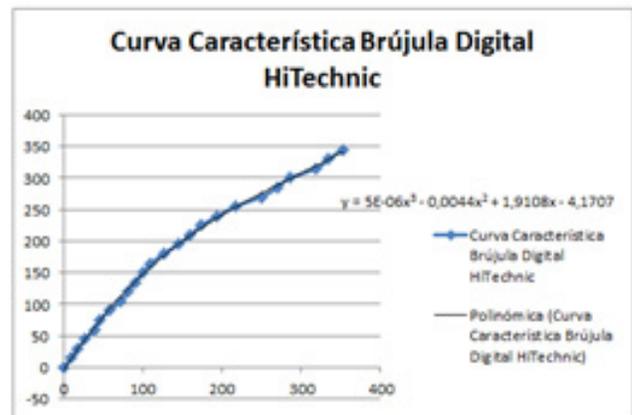


Figura 5. Curva característica para obtener la ecuación de la brújula HiTechnic.

Tabla 1. Número correspondientes a los colores utilizados en el prototipo.

Color	No.	Elemento	Color	No.	Elemento
Amarillo	6	Suelo almacén 1 y línea central.	Negro	0	Líneas de parada en zona de empaque de caja.
Azul	3	Pelotas tipo 1.	Rojo	8	Suelo almacén 2 y línea exterior izquierda.
Café	14	Piso.	Rosado	10	Pelotas tipo 2.
Naranja	7	Pelotas defectuosas.	Verde	4	Línea exterior derecha.

Tabla 2. Mediciones para obtener ecuación característica de la brújula.

Valor real	Valor medido								
0	0	75	46	150	100	225	174	300	285
15	10	90	58	165	110	240	194	315	319
30	18	105	72	180	126	255	217	330	334
45	27	120	82	195	145	270	249	345	252
60	39	135	90	210	160	285	270		

Utilizando la ecuación (1) (donde x es el valor retornado por la brújula y y el valor acondicionado) se realizaron las mediciones del ángulo al que está apuntando el robot y se posibilitó realizar giros precisos; sin embargo, por la arquitectura física de las unidades móviles y fijas, se podrá girar a un ángulo determinado con una precisión de $\pm 2^\circ$.

3.2.1.4. Acelerómetro

El sensor de aceleración/inclinación (NAC1040) producido por Hitechnic permite medir la aceleración e inclinación que experimenta el mismo en cada uno de sus ejes. El acelerómetro presentó un comportamiento satisfactorio. No obstante, para tomar una decisión basada en él se toman dieciséis muestras y se promedian para filtrar una posible medición errónea.

3.2.2. Agentes fijos

Los agentes robóticos fijos cumplen con las funciones de selección y empaque de los objetos. Ellos trabajan cooperativamente para garantizar el cumplimiento de las dos tareas nombradas anteriormente. Estas unidades robóticas deben mantener una comunicación entre ellas para hacer correctamente su labor. Los agentes fijos presentes son dos brazos robóticos y una banda transportadora.

3.2.2.1. Brazos robóticos

En términos generales, los brazos son los encargados de separar los objetos defectuosos de los que están en buen estado y de remover los objetos (pelotas plásticas) cuando ya se ha completado la cantidad requerida por el usuario. Estas dos tareas las cumple a medida que las pelotas pasan por la banda transportadora.

3.2.2.2. Banda transportadora

Al igual que los brazos, la banda transportadora está hecha con partes del kit educacional Mindstorms de

Legó®. La banda transportadora cuenta con un sensor de color, gracias a esto es utilizada no solo para llevar las pelotas desde el almacén hasta las cajas ubicadas en el otro extremo de la banda; sino también para realizar el conteo de las pelotas que requiere el usuario y las pelotas defectuosas que pasan sobre ella.

3.2.3. Agentes móviles

Los agentes robóticos móviles son los encargados de la búsqueda del camino óptimo para el transporte de las cajas y del transporte de estas cuando ya se encuentran con la cantidad de objetos requeridos por el usuario. Trabajan colectivamente con los agentes fijos comunicándose con ellos para garantizar el cumplimiento de todo el proceso de transporte y embalaje de las cajas. Cada uno de los agentes móviles está equipado con:

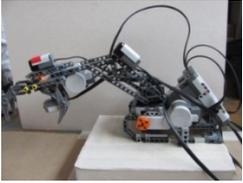
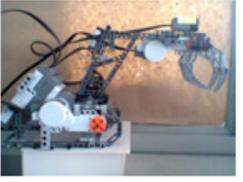
- 1 Unidad de Procesamiento Central (Brick).
- 2 servo-motores.
- 2 sensores de Ultrasonido para Legó®.
- 1 HiTechnic NXT Color Sensor Version 2 para LEGO MINDSTORMS NXT.
- 1 HiTechnic NXT Compass Sensor for LEGO Mindstorms NXT (tabla 3).

3.2.4. Interfaz Humano Máquina (HMI)

El sistema no tendría ningún sentido de ser si no existiese una forma mediante la cual comunicarse con él y establecer los requerimientos que el usuario tenga. Esta interacción es posible mediante un software que permite transmitir las necesidades del usuario a los agentes robóticos para su ejecución. Se incluyó una CPU NXT de Legó® como enrutador y conversor de medio mediante conexión USB.

Cada CPU NXT tiene diez "Mailbox" o buzones de correo que le permite intercambiar mensajes, ya sea con otra CPU o con un computador. Cuando los mensajes se intercambian por medio de Bluetooth® se realizan transmisiones de tipo "Remote",

Tabla 3. Integrantes robóticos del sistema total.

Robot	Categoría	Tarea asignada	Imagen
ARM1	Agente Fijo	Selección de pelotas	
ARM2	Agente Fijo	Sellado de cajas	
BANDA	Agente Fijo	Llenado de caja	
NXTON/SALLY	Agente Móvil	Búsqueda de almacén y transporte	
HUB	HMI	Comunicación	

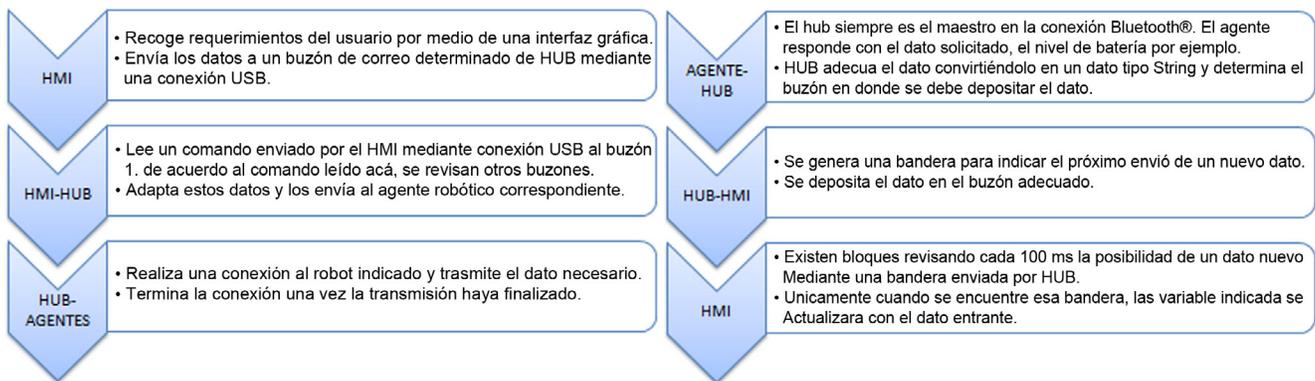


Figura 6. Secuencia de tx de datos desde HMI hacia agentes robóticos y viceversa.

permitiendo enviar al buzón de una CPU remota (no cableada) un dato de tipo numérico, booleano o de texto.

Cuando una CPU NXT se encuentra comunicada con un dispositivo, en este caso un computador, por medio de una conexión tipo USB solo es posible intercambiar mensajes de tipo String. En la figura 6 se muestran las secuencias de envío de mensajes desde el HMI hacia HUB y desde HUB hacia el HMI.

El HMI fue programado utilizando LabView. Una de las grandes razones por las cuales se decidió programar en esta herramienta, y no en un código basado en C o en Java, es que LabView posee un Toolbox para programar robots NXT.

4. ALGORITMOS IMPLEMENTADOS

El algoritmo implementado contiene una alta complejidad no por su costo computacional si no por la cantidad de entidades en las que se ejecuta simultáneamente. El objetivo total del algoritmo del sistema se divide en cinco procesos, que son:

- Exploración del entorno.
- Cálculo de ruta.
- Transporte de cajas.
- Selección y empaque de productos.
- Sellado de cajas.

4.1. Exploración del entorno

Una de las características destacables de este sistema es el alto grado de autonomía. Son pocos los datos que el usuario debe seleccionar para que este funcione; por ejemplo, la ubicación de los almacenes no está determinada por el usuario si no que es uno de los datos a descubrir, como lo hacen las hormigas verdaderas. El algoritmo tiene dos estados aleatorios:

- Dirección inicial: una vez el robot avanzó lo suficiente como para alejarse de la zona de

sellado de caja, sortea un número de 0 a 2 que determinará el primer paso a seguir (avanzar hacia la derecha, avanzar hacia la izquierda, seguir derecho).

- Ángulo de giro: cuando el robot enfrenta un obstáculo, retrocede y gira activando sus motores por un tiempo aleatorio. De no ser así, al llegar a una esquina el robot quedaría en un ciclo infinito ya que ejecutaría las mismas acciones ante los mismos estímulos.

4.2. Cálculo de ruta

Una vez encontrado el almacén es necesario hallar el camino menos costoso (distancia y número de giros) para transportar las cajas. La ruta más eficiente se determina por la cantidad de feromonas puesta en ellas que se refuerza entre más hormigas la transiten. La implementación de ese método para determinar la mejor ruta requería de múltiples iteraciones en las que las "hormigas" buscaran el camino y compararan las rutas estipuladas hasta construir la ruta total. Este comportamiento imita el comportamiento real de una hormiga, pero es inadecuado para un proceso industrial en el que el tiempo es un factor importante. Por lo anterior, se realizó un algoritmo adicional que le permitiera a una sola hormiga entender el recorrido que hizo y cómo podría ser simplificado para distribuir solamente la ruta más eficiente hacia el almacén correspondiente. No siendo necesario indicar un camino, bastará con indicar una coordenada para que la otra hormiga llegue al almacén requerido.

4.3. Transporte de cajas

Cuando una hormiga es informada de que una caja está lista para ser transportada, esta se encarga de conducir la caja hasta el área de sellado. Mientras la caja se sella, la hormiga verifica si conoce la ubicación del almacén requerido, de no ser así se conecta por medio de Bluetooth® a la otra hormiga exploradora preguntándole sobre la ubicación del

almacén. Hasta que la hormiga exploradora informe la posición del almacén, la hormiga encargada del transporte no sale de la zona de sellado. En la naturaleza, la hormiga seguiría la ruta que la otra hormiga generó mediante la feromona dejada, en nuestro caso la hormiga descubridora no entrega una ruta si no el punto final al cual debe llegar. Así, las hormigas están programadas para recorrer una distancia X y luego girar 90° para recorrer una distancia Y.

4.4. Selección y empaque de productos

La selección y empaque de pelotas es un proceso que se lleva a cabo por dos robots, es en esta parte

donde más se necesita de la cooperación para lograr empacar una caja. Uno de ellos es el encargado de depositar las pelotas deseadas en la caja o retirar las que para ese caso específico no sean requeridas, el otro robot es la banda transportadora inteligente que se encarga de mover y detener las pelotas en el momento adecuado.

4.5. Sellado de cajas

Sellar una caja llena de pelotas es un proceso sencillo por la fisionomía de la caja. Para sellar la caja el robot empuja la tapa y ejerce presión para asegurarla.

Tabla 4. Sincronización final.

Tiempo	Proceso 1	Proceso 2
0	Usuario ingresa requerimientos al HMI.	
1	HMI (HUB) envía datos sobre # de pelotas de cada color, y almacén a BANDA.	
2	SALLY informa a BANDA que está en la posición inicial y pide información sobre el almacén a buscar.	
3	SALLY abandona zona de empaque y sellado.	
4	SALLY solicita a NXTON que ponga caja en la posición inicial.	
5	NXTON lleva caja a posición inicial (marca negra).	
6	SALLY busca almacén.	BANDA y ARM1 llenan caja e informan a NXTON cuando esté completa.
7	SALLY encuentra almacén y retorna hasta la salida de la zona de transporte (marca roja).	
Ambos procesos deben haber concluido para continuar		
8	NXTON avanza y solicita a ARM2 sellar la caja.	
9	NXTON pide a SALLY coordenadas del almacén.	
10	NXTON lleva caja al almacén.	SALLY sigue la línea para llegar al punto inicial.
11	NXTON deja caja y se estaciona en la marca roja.	
Se esperan nuevas indicaciones de HMI		

5. SINCRONIZACIÓN FINAL

El resultado final de la implementación es la unión de todos los procesos explicados hasta este punto. Algunos de ellos pueden presentarse simultáneamente. En la tabla 4 se muestra en función del tiempo los procesos que transcurren para lograr una caja empacada, sellada y transportada al almacén requerido por el usuario.

6. CONCLUSIONES

A la hora de diseñar los algoritmos que permitieron el correcto desempeño del sistema, fue notorio el alto costo computacional y el tiempo requerido para la convergencia del mismo en algunos procesos de la implementación. Por ejemplo, fue inviable la implementación rigurosa de la feromona al momento de encontrar el almacén ya que requería de múltiples iteraciones para establecer un camino eficiente. Sin embargo, las características de los movimientos aleatorios y pseudo-dependientes del entorno hacen de la ubicación del destino final de las cajas un proceso dinámico y autónomo.

La comunicación como característica fundamental de la robótica cooperativa y como evolución de la automatización, fue el factor más importante. La sincronización total del sistema depende de la eficiencia de la comunicación, así que al no escatimar recursos (batería, costo computacional, etc.) se garantizó la correcta conexión entre los agentes robóticos.

Una de las grandes herramientas que permitió optimizar los procesos de comunicación y cálculo de rutas fue el uso del software NXC, que brindó la posibilidad de realizar funciones remotas, además de calcular las rutas, por el hecho de manejar variables en punto flotante y operar arreglos, entre otros. El HMI fue implementado en un computador utilizando LabView® y en una CPU NXT simultáneamente. La inclusión de la CPU adicional optimizó

la comunicación Bluetooth® de las CPU NXT con el computador y además brindó la oportunidad de incluir información adicional, como los niveles de batería de los robots.

Finalmente, se generó un sistema eficiente, dinámico, autónomo y sin duda alguna un modelo viable extrapolable con pequeñas modificaciones a escala real.

7. REFERENCIAS

- [1] P. Grassé, «La reconstruction du nid et les coordinations inter-individuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. La théorie de la Stigmergie : Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs». *Insectes Sociaux*, no. 6, pp. 41-80, 1959.
- [2] M. Dorigo, *Optimización, Learning and Natural Algorithms*. PhD thesis, 1992.
- [3] C. Garzón, *Métodos de búsqueda y recolección para un sistema de pherobots simulado utilizando algoritmos de rastreo LCH, sensación de pánico y reducción de interferencia espacial*. Trabajo de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2011.
- [4] M. García, Implementación de un prototipo de sistema robótico colectivo para adecuación de un terreno inspirado en algoritmos de comportamiento biológico. Tesis, Especialización en Informática Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2011.
- [5] J. Paciello, H. Martínez, C. Lezcano y B. Barán, "Algoritmos de Optimización multi-objetivo basados en colonias de hormigas". *Proceedings of CLEI'2006*. Santiago de Chile, Latin-American Conference on Informatics (CLEI), 2006.
- [6] S. Alonso, *La metaheurística de optimización basada en colonias de hormigas: modelos y nuevos enfoques*. Granada, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, e.t.s. Universidad de Granada., 2004.
- [7] Lego®. LEGO® MINDSTORMS® NXT 2.0, 2013, [en línea]. Consultado en noviembre de 2013,

disponible en: <http://shop.lego.com/en-US/LEGO-MINDSTORMS-NXT-2-0-8547>

- [8] RoboCup Junior. RoboCup junior, 2013, [en línea]. Consultado en octubre de 2012, disponible en: <http://www.robocupjunior.be/robocup/>
- [9] World Robot Olympia, World Robot Olympia España, 2015, [en línea]. Consultado en abril de 2015, disponible en: <http://www.wroboto.es/>

- [10] Lego. (2010, junio), Lego Engineering Symposium, 2012, [en línea]. Consultado en octubre de 2013, disponible en: <http://www.legoengineering.com/lego-engineering-symposium-2010/>
- [11] Daniel Benedettelli. Danny's Lab, 2014, [en línea]. Consultado en mayo de 2014, disponible en: <http://robotics.benedettelli.com/>





Técnicas de procesamiento de señales utilizadas para el análisis de la distorsión armónica generada por variadores de frecuencia en motores de inducción

Signal Processing Techniques Used for Analyzing Harmonic Distortion Generated by Variable Frequency Drive in Induction Motors

Manuel Iván Ballesteros Camacho¹ Francy Julieth Cadena Villalba²
Adolfo Andrés Jaramillo Matta³

Para citar este artículo: Ballesteros, M., Cadena, F., y Jaramillo, A. (2015). Técnicas de procesamiento de señales utilizadas para el análisis de la distorsión armónica generada por variadores de frecuencia en motores de inducción. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 72-84.

Recibido: 27-febrero-2015 / **Aprobado:** 10-junio-2015

Resumen

Se presenta una detallada revisión del estado del arte de las técnicas de procesamiento de señales utilizadas para el análisis de la distorsión armónica generada por variadores de frecuencia en motores de inducción con rotor jaula de ardilla, referenciando algunas de las investigaciones más relevantes relacionadas con este tema. Finalmente, son identificadas oportunidades de investigación que a la fecha no han sido tratadas por la comunidad científica en este campo del conocimiento.

Palabras clave: accionamientos eléctricos de control de velocidad, estado del arte, perturbaciones armónicas, técnicas de procesamiento de señales.

Abstract

This article presents a detailed review of the state of the art of signal processing techniques used for the analysis of harmonic distortion generated by variable frequency induction motors with squirrel cage rotor is presented, referencing some of the most relevant research related with this issue. Finally, are identified research opportunities that to date have not been addressed by the scientific community in this field of knowledge.

Keywords: electric motor-driven system, state of the art, harmonic distortion, signal processing techniques.

1. Ingeniero eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, miballesterosc@correo.udistrital.edu.co
2. Ingeniera eléctrica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, fjcadnav@correo.udistrital.edu.co
3. Ingeniero Electrónico, Universidad del Valle, Colombia, Maestría en Ingeniería, énfasis en Automática, Universidad del Valle, Colombia, Maestría en Ingeniería Electrónica, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España, Doctor en Ingeniería Electrónica, Eléctrica y Comunicaciones, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España, profesor de planta e investigador, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, ajaramillom@udistrital.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

En los procesos productivos de la industria se utilizan comúnmente sistemas de accionamiento eléctrico constituidos por motores de inducción (Mdl), en particular los de rotor jaula de ardilla. Dichos motores son ampliamente utilizados hoy día y hacen parte de los accionamientos que más consumen energía [1], [2]. Una de las soluciones planteadas para incrementar la eficiencia y reducir el consumo energético ha sido utilizar motores de eficiencia Premium en vez de motores de eficiencia estándar. Uno de los procesos más comunes en los accionamientos mencionados es el control de velocidad del Mdl, para lo cual se utilizan variadores de velocidad que generan ventajas, en cuanto ahorro energético, reducción del desgaste y de la probabilidad de falla [3]. No obstante, la electrónica de potencia presente en estos dispositivos convierte al accionamiento en una importante carga no lineal que genera armónicos a la red de suministro eléctrico [4], [5], ocasionando efectos nocivos a empresas distribuidoras y generadoras de energía, daños o fallas a equipos eléctricos, electrónicos, sistemas de control y pérdidas económicas considerables por retrasos o paradas indeseadas en procesos de producción [6].

Por otra parte, para el estudio de las componentes armónicas presentes en las señales de tensión y corriente, la literatura matemática ha propuesto el uso de técnicas de procesamiento en frecuencia como la Transformada de Fourier (FT). Sin embargo, este método de análisis no brinda datos suficientes para evaluar el comportamiento armónico de las señales, ya que entre sus limitaciones se destaca la poca información que se puede obtener cuando las señales son no estacionarias (cuya frecuencia varía en el tiempo) [7], [8]. En consecuencia, diversas investigaciones han demostrado que el uso de técnicas de procesamiento en tiempo-frecuencia como la Transformada en tiempo corto de Fourier (STFT) y la Transformada Wavelet (WT) genera

mejores resultados respecto al análisis de señales no estacionarias y de rápida transitoriedad.

A continuación se presenta un detallado estado del arte, que permite poner en evidencia algunos de los trabajos más representativos de los últimos años sobre las técnicas de procesamiento de señales utilizadas para el análisis de la distorsión armónica generada por variadores de frecuencia en motores de inducción con rotor jaula de ardilla.

2. DISTORSIÓN ARMÓNICA GENERADA POR VARIADORES DE FRECUENCIA EN MOTORES DE INDUCCIÓN

2.1. Aplicación de la Transformada de Fourier en el análisis de armónicos

La Transformada de Fourier (FT) es una de las técnicas más utilizadas en el procesamiento de señales, que descompone una señal o función en senos y cosenos de diferentes frecuencias y cuya suma corresponde a la señal original [9]. En la figura 1 se puede observar la representación.

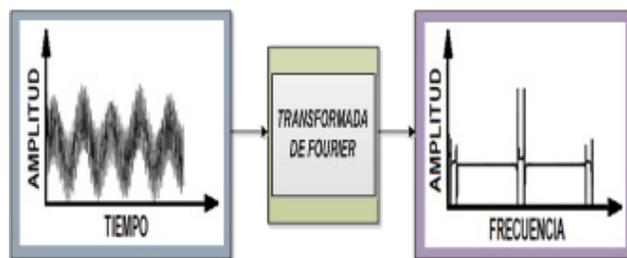


Figura 1. Representación esquemática de la FT. Modificado de [9].

La Transformada de Fourier de una señal $x(t)$ se define como:

$$F\{x(t)\} = X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

La FT es de gran utilidad cuando es aplicada a señales de carácter estacionario. Sin embargo, si este

tipo de análisis se aplica a una señal no estacionaria $x(t)$, cualquier cambio abrupto en el dominio del tiempo en la señal se hace extensivo a todo el dominio de frecuencia en $X(f)$, por lo que muchos de los aspectos temporales de $x(t)$, tales como el comienzo y el fin de la señal, así como los instantes de aparición de singularidades, no pueden ser examinados apropiadamente por el análisis de Fourier [10], [11].

A pesar de la desventaja que presenta la Transformada de Fourier, esta ha sido ampliamente utilizada para el estudio de armónicos y análisis de fallas en Mdl, como se puede evidenciar en [12], [13], [14], [15], [16], [17]. En la figura 2 se presenta una línea de tiempo donde se relacionan algunas de las publicaciones más relevantes en los últimos años sobre el uso de la FT para el estudio de armónicos originados por la presencia de fallas en: Mdl y accionamientos eléctricos de control de velocidad.

En [18], [19], [20], [21] abordan el tema de mantenimiento predictivo en Mdl mediante el uso de

MCSA (Current Signature Analysis). Realizan el análisis espectral de frecuencia de la señal de corriente estática utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Destacan que la FFT es de gran utilidad cuando el motor se encuentra operando bajo condiciones estacionarias. Adicionalmente, desarrollan estudios teórico-prácticos sobre las principales fallas que afectan los Mdl: problemas en los rodamientos, rotura de barras en la jaula de ardilla y cortocircuitos en los bobinados del estator. En [22] además, construyen un banco de ensayos en el cual simulan los diversos tipos de fallas que se presentan en el Mdl y que pueden ocasionar armónicos en la señal de tensión y corriente. También plantean una metodología de monitoreo, detección y diagnóstico de fallas, basada en el análisis espectral de frecuencia de la corriente del motor. En [23] proponen un algoritmo de diagnóstico preciso y eficiente para la detección de fallas en barras rotas del rotor de jaula de ardilla de los motores de inducción trifásicos (BRBS) bajo diferentes condiciones de carga. El índice de diagnóstico de fallas (FSDO) propone considerar la corriente del estator

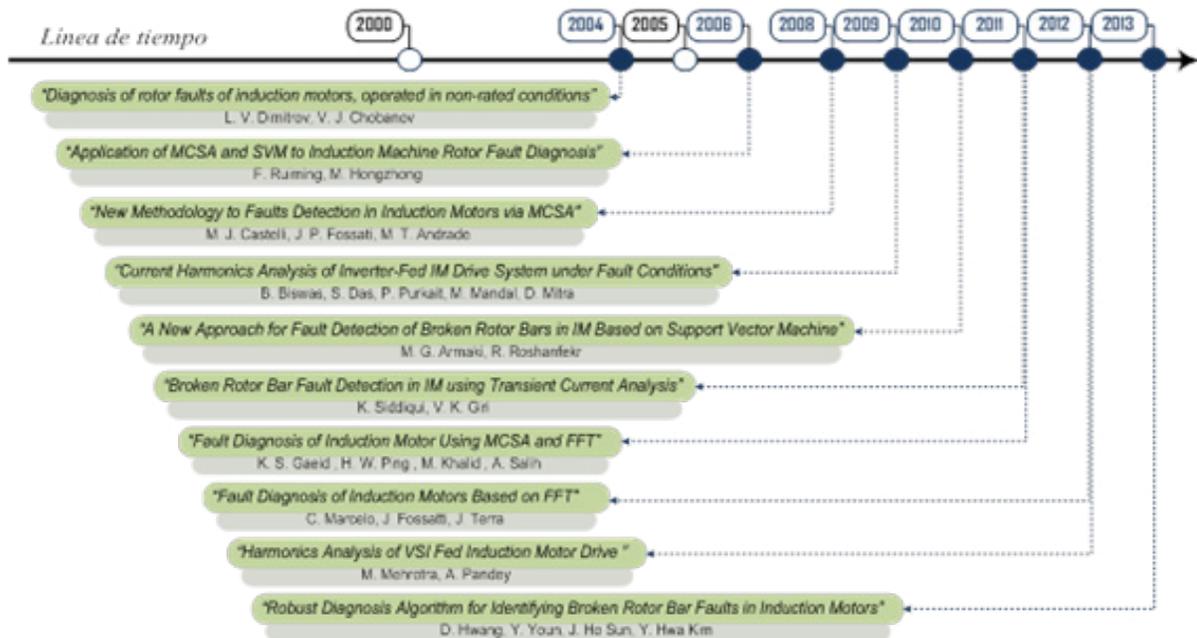


Figura 2. Estudios publicados en el mundo sobre el uso de la FT para el estudio de armónicos originados por la presencia de fallas en accionamientos eléctricos de control de velocidad.

sobre la base de todas las frecuencias sensibles de falla, realizando un análisis MCSA apoyado en el método de la FFT. Los resultados experimentales obtenidos muestran que el algoritmo de diagnóstico utilizado proporciona el rendimiento óptimo sin carga y con carga finita cuando el motor opera en condiciones normales.

En [24] proponen un nuevo enfoque para la detección de fallas presentes en el rotor, utilizando el SVM (Support Vector Machine). Características tales como área de la curva, ángulo de cresta y amplitud armónica son extraídas de la densidad espectral de potencia (PSD) de la corriente en régimen permanente, utilizando la FFT como herramienta matemática. El método propuesto es aplicado a un motor de inducción trifásico de 1.5 kW. Los resultados obtenidos demuestran la alta eficiencia del método desarrollado en la detección de fallas en el rotor. En [25] se determina una metodología de monitoreo y diagnóstico para motores asíncronos que se pueden aplicar a nivel industrial, sin sacar al motor de la línea de producción, siendo dicha metodología: de fácil aplicación, económica y muy confiable. Este método se basa en la descomposición espectral de la señal de corriente, a través de la FFT. El sistema propuesto es capaz de determinar el valor exacto del componente armónico en estudio, independientemente del tiempo de muestreo. Esta técnica también permite determinar la medida exacta del defecto y la frecuencia asociada al armónico, y de esta manera, estudiar las tendencias de crecimiento de fallas.

En [26] realizan el análisis de los armónicos de corriente presentes en un accionamiento eléctrico de control de velocidad que se encuentra sometido a diferentes condiciones de falla. Se estudian las respuestas de frecuencia y se comparan para establecer la utilidad de la FFT en la identificación de la naturaleza de la falla. En [27] analizan los armónicos presentes en accionamientos eléctricos de control de velocidad utilizando MATLAB/Simulink

y la Transformada Rápida de Fourier como herramientas para el desarrollo de esta investigación.

2.2. Aplicación de la Transformada en Tiempo Corto de Fourier en el análisis de armónicos

La STFT evalúa la señal a través de una ventana de análisis que la recorre, donde una vez se elige un determinado tamaño de la ventana, esta será la misma para todas las frecuencias [28], [29]. En la figura 3 se puede observar la representación esquemática de la STFT.

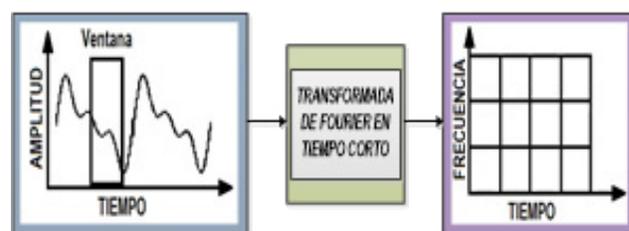


Figura 3. Representación esquemática de la STFT. Modificado de [9].

La Transformada en Tiempo Corto de Fourier es definida [30] como:

$$STFT(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) g^*(t-\tau) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

Entre las funciones ventana más utilizadas se encuentran las de tipo gaussiano (Hamming, Hann), ya que pueden alcanzar buenas resoluciones simultáneamente en tiempo y frecuencia. Se encuentran definidas por:

$$g_{t,\tau} = e^{-\pi(t-\tau)^2} \quad (3)$$

donde: τ es el factor de desplazamiento.

En esencia, la STFT evalúa la Transformada de Fourier original sobre la señal vista a través de la ventana de análisis, a medida que esta es desplazada, recorriendo la totalidad de la señal de estudio. Sin

embargo, existe una limitación en la magnitud de las resoluciones en tiempo y frecuencia [31]. Esta limitación indica que es imposible definir una ventana de análisis $g(t)$, con resolución temporal Δt , cuya energía se encuentre perfectamente localizada en el tiempo, y que, simultáneamente, su Transformada de Fourier $G(f)$ (con resolución en frecuencia Δf) posea su energía perfectamente localizada en frecuencia. Debido a esto, una ventana de análisis de corta duración será ideal para determinar la ubicación temporal de una frecuencia, mientras que una ventana de larga duración será útil para determinar las frecuencias presentes en la señal de análisis [11].

En la figura 4 se presenta una línea de tiempo donde se destacan algunas de las publicaciones científicas más relevantes en los últimos años, sobre el uso de la STFT en la detección y análisis de perturbaciones armónicas originadas por fallas en: accionamientos eléctricos de control de velocidad y Mdl.

En [32] explican cuatro métodos de análisis tiempo-frecuencia diferentes para la detección y

categorización de fallas (análisis de la discriminación múltiple (MDA), análisis de imán permanente de corriente alterna (PMAC), Transformada en Tiempo Corto de Fourier (STFT) y Transformada Wavelet Discreta Undécimal (UDWT)) que se pueden presentar en los Mdl. Estas técnicas de análisis son comparadas mediante el uso de un algoritmo matemático basado en el número de clasificaciones correctas y relación discriminante de Fisher.

En [33], [34] realizan un estudio comparativo de las técnicas de análisis FFT, STFT y WT para el diagnóstico de fallas en motores de inducción. La STFT determina la frecuencia sinusoidal y el contenido de fase de las secciones locales de una señal. La STFT se utiliza para estimar el contenido de frecuencia de una señal. Por otro lado, Wavelet muestra cambios en la amplitud y distribución de los armónicos y es la transformación adecuada para ser aplicada en señales no estacionarias. Concluyen que los nuevos métodos como la STFT y el análisis Wavelet permiten diagnosticar con eficacia las fallas de cortocircuito y de rotura de barras en la jaula de ardilla del Mdl. En [35] analizan los efectos producidos por

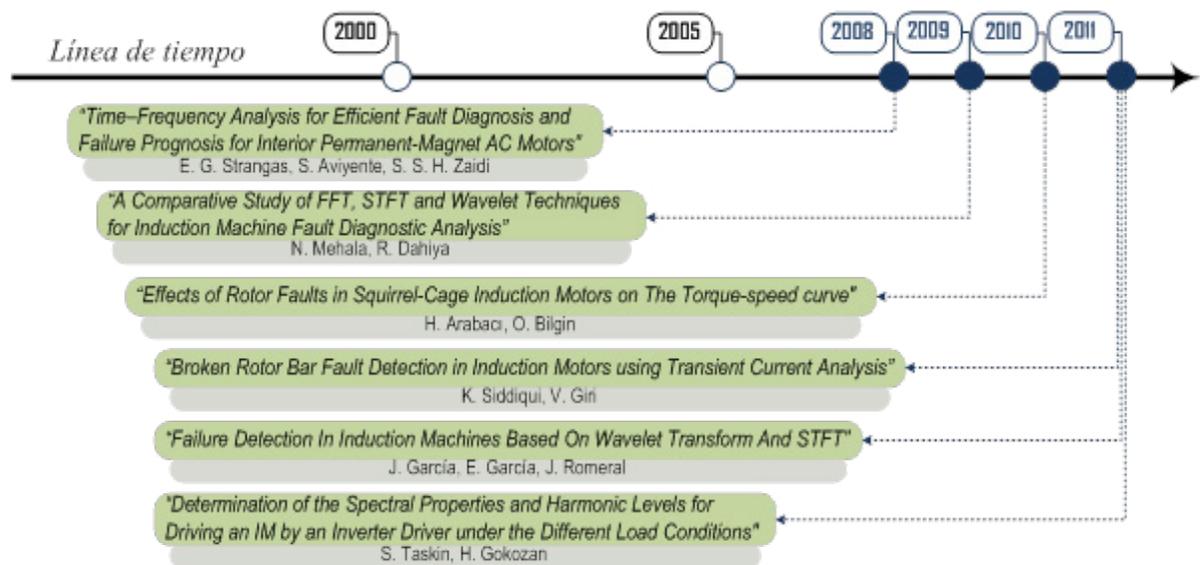


Figura 4. Estudios publicados en el mundo sobre el uso de STFT en la detección y análisis de armónicos originados por fallas en accionamientos eléctricos de control de velocidad.

las fallas de rotor del motor de inducción de jaula de ardilla en la curva par-velocidad. En el estudio, los datos experimentales utilizados se obtuvieron de motores de 10HP, 25HP, 30HP y 50HP. Los experimentos se realizaron durante la puesta en marcha de los motores. El análisis se realizó utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y la Transformada en Tiempo Corto de Fourier (STFT).

En [36] proponen utilizar para la detección de fallas el análisis de espectrograma de la Transformada Rápida de Fourier (STFT) y la Transformada Wavelet (WT), que consumen menos tiempo de procesamiento. Destacan que mediante el análisis de la STFT se puede centrar la atención en los armónicos de alta frecuencia y determinar fallas de cortocircuito, aunque se dificulta el análisis para señales cambiantes en el tiempo, por lo que se hace necesario recurrir al uso de la Transformada Wavelet (WT). La WT para torques variables permite calcular un parámetro de decisión como la energía o valor rms que evidencia el tipo de falla de la máquina de forma segura.

En [37] las corrientes de cada fase que alimentan el Mdl son analizadas utilizando la STFT y la densidad espectral de energía. Se consideran los niveles de distorsión armónica producidos por un variador de frecuencias utilizadas para controlar la velocidad mecánica de rotación del Mdl. El estudio es realizado bajo diferentes condiciones de carga.

2.3. Aplicación de la Transformada Wavelet en el análisis de armónicos

Para reducir la limitación en resolución presente en la STFT, y que se ajuste la resolución de la ventana de análisis, tanto en tiempo como en frecuencia, se recurre al uso de la Transformada Wavelet (WT) [28], la cual permite obtener una representación, descomposición y reconstrucción de una señal, que presente cambios abruptos en sus componentes de tiempo-frecuencia en forma instantánea, a través del análisis multiresolución con ventanas de

longitud variable, adaptadas al cambio de frecuencia de la señal [38]. En la figura 5 se puede observar la representación esquemática de la WT.

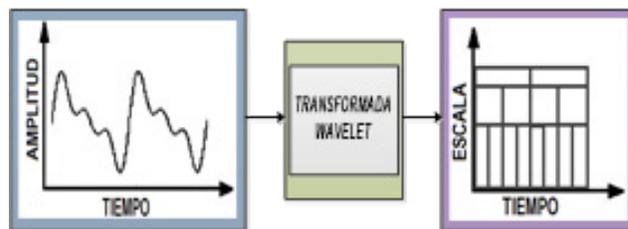


Figura 5. Representación esquemática de la WT. Modificado de [9].

La Transformada Wavelet de una función $s(t)$, está definida por la siguiente ecuación [39]:

$$S(a, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-\tau}{a} \right) \cdot s(t) \cdot dt \quad (4)$$

donde: a es la dilatación y τ es el factor de translación.

Las Wavelets son funciones básicas de la Transformada Wavelet y son generadas a partir de la traslación y cambio de escala de una misma función Wavelet $\psi(t)$, llamada la "Wavelet madre", definida como:

$$\psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \left(\frac{t-\tau}{a} \right) \quad (5)$$

donde: a es la dilatación, τ es el factor de translación y $\psi(t)$ es la Wavelet madre [39].

Las wavelets $\psi_{a,\tau}(t)$ generadas de la misma función wavelet madre $\psi(t)$ tienen diferente escala s y ubicación t , pero tienen todas la misma forma. Se utilizan siempre factores de escala $s > 0$. Las Wavelets son dilatadas cuando la escala $s > 1$ y son contraídas cuando $s < 1$. Así, cambiando el valor de s se cubren rangos diferentes de frecuencias. Valores grandes del parámetro s corresponden a

frecuencias de menor rango, o una escala grande de $\Psi_{a,\tau}(t)$. Valores pequeños de s corresponden a frecuencias de mayor rango o una escala muy pequeña de $\Psi_{a,\tau}(t)$ [40].

Algunas de las aplicaciones más frecuentes en las que se emplea la Transformada Wavelet son: estudio de discontinuidades, representación de singularidades (aplicación a la detección de daño estructural), obtención de información tiempo-frecuencia, obtención de información en imágenes, obtención de información para análisis de perturbaciones electromagnéticas presentes en la señal de tensión y corriente, entre otras.

Por otro lado la WT, se divide en tres tipologías diferentes: continua (CWT), semi-discreta (SDWT) y discreta (DWT). La diferencia entre ellas radica principalmente en la forma en la que los parámetros translación y escala son tratados [40].

Aunque anteriormente se han realizado estudios referentes a perturbaciones armónicas presentes en Mdl [41], [42], [43], [44], [45] empleando la WT

como herramienta matemática de análisis; en la figura 6 se presenta una línea de tiempo donde se enfatizan algunas de las publicaciones científicas más relevantes en los últimos años sobre el uso de la WT para la detección y análisis de perturbaciones armónicas presentes en accionamientos eléctricos de control de velocidad.

En [46] se expone una nueva metodología para la supervisión de fallas y diagnóstico de armónicos en Mdl, utilizando la Transformada Wavelet y la Red Neuronal Wavelet como herramientas. El método de diagnóstico se basa en el análisis espectral de la corriente del estator. Este método combina la Transformada Rápida de Fourier (FFT), la Transformada Wavelet (WT) y la Red Neuronal Wavelet (WNN), demostrando que este nuevo enfoque es eficaz para la detección de fallas en el rotor. En [47] utilizan un método para la detección de barras rotas en Mdl, basado en la WT y en el análisis de la corriente del estator. Emplean la Transformada Wavelet Continua (CWT) para la extracción específica de componentes de frecuencia que permitan examinar este tipo de falla en un Mdl. Los resultados experimentales

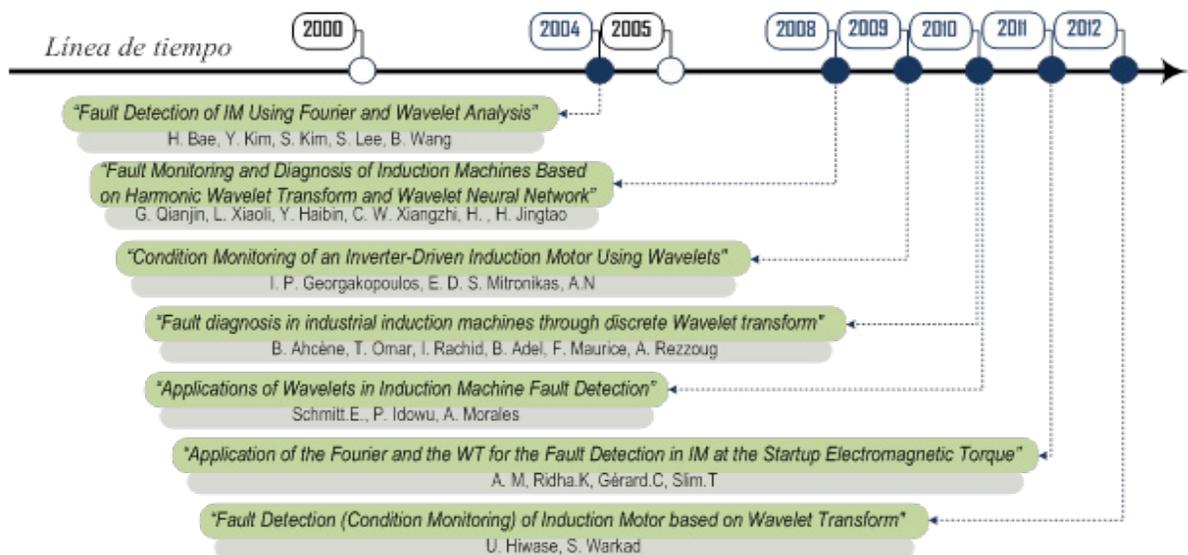


Figura 6. Estudios publicados en el mundo sobre el uso de WT en la detección y análisis de armónicos presentes en accionamientos eléctricos de control de velocidad.

obtenidos confirmaron la capacidad de la técnica propuesta para identificar, bajo diferentes condiciones de velocidad, componentes armónicos característicos debidos a la rotura de barras en Mdl.

En [48] se aborda el diagnóstico de fallas en Mdl utilizando la Transformada Wavelet discreta (DWT). Seleccionan como Wavelet madre “la Wavelet Daubechies” con la cual realizan un barrido de la señal en los dominios de tiempo y frecuencia alcanzando resultados óptimos en la detección de fallas eléctricas del estator y rupturas del rotor. En [49] presentan un nuevo algoritmo basado en wavelets para la detección de fallas en el Mdl. Este nuevo método utiliza la desviación estándar de los coeficientes wavelet, que se obtiene de la descomposición de n-niveles de cada fase, para identificar fallas en el voltaje en una fase o fallas en la resistencia del estator en máquinas de inducción. El algoritmo propuesto puede funcionar independiente de la frecuencia de operación, tipo de falla y condiciones de carga. Los resultados muestran que este algoritmo tiene una mejor respuesta de detección que las técnicas basadas en la Transformada de Fourier.

Asimismo, en [50], [51] proponen un método para el diagnóstico de fallas que se puedan presentar en el rotor de un Mdl. Este método consiste en analizar la corriente del estator, empleando para ello, la FT y la DWT. La aplicación de estas dos herramientas matemáticas permite extraer de manera óptima las características predeterminadas del motor en diferentes condiciones operativas. Por otra parte, en [52] se aplican diferentes técnicas para el análisis del espectro de frecuencia de señal de corriente estacionaria, esto con el propósito de detectar armónicos característicos que se pueden presentar durante una falla en los Mdl. Entre las metodologías expuestas para el análisis estacionario se encuentra el MCSA (Motor Current Signature Analysis) y el EPVA (Extended Park’s Vector Approach). Este artículo propone, además, una nueva técnica para el análisis transitorio de la señal, que consiste en

una combinación de la EPVA y la Transformada Wavelet discreta, la cual permite obtener mejores resultados en la detección de fallas eléctricas del motor de inducción tanto en estado transitorio como estacionario.

3. ANÁLISIS

En este artículo se presenta una revisión detallada que permite poner en evidencia algunos de los trabajos de investigación más representativos de los últimos años, sobre el uso de técnicas de procesamiento de señales para el análisis de la distorsión armónica generada por variadores de frecuencia en motores de inducción con rotor jaula de ardilla. Las técnicas de procesamiento de señales consideradas en este documento fueron: la Transformada de Fourier (FT), la Transformada en Tiempo Corto de Fourier (STFT) y la Transformada Wavelet (WT). En cuanto a la FT las referencias consultadas coinciden en que esta técnica de procesamiento genera buenos resultados cuando las señales son estacionarias; pero cuando estas son no estacionarias la información que se obtienen no es suficiente. Por ende se debe recurrir al uso de técnicas de procesamiento tiempo frecuencia como la STFT y la WT. La STFT evalúa la señal a través de una ventana de análisis supliendo la falencia de la FT; no obstante, esta ventana una vez elegida, es la misma para analizar todas las frecuencias de la señal. Puesto que muchas señales requieren flexibilidad y precisión cuando se quieren analizar ciertos componentes de frecuencia se recurre al uso de la WT que suple la falencia de la FT, respecto al análisis de señales no estacionaria y de rápida transitoriedad y suple la falencia de la ventana de análisis de la STFT, ya que utiliza una ventana de análisis que se adapta a las características propias de la señal teniendo una muy buena resolución tiempo frecuencia de manera simultánea. Finalmente, en la tabla 1 se resumen de forma comparativa las principales características de las técnicas de procesamiento estudiadas en este artículo para el tratamiento de señales.

	Transformada de Fourier (FT)	Transformada rápida de Fourier (STFT)	Transformada Wavelet (WT)
<i>Funciones base</i>	senos y cosenos	cosenos	Wavelets
<i>Tipo de señal analizada</i>	estacionarias	estacionarias y no estacionarias	estacionarias y no estacionarias
<i>Ventana de análisis</i>	No	Si, longitud fija (no se adapta a las características propias de la señal)	Si, longitud variable (se adapta a las características propias de la señal)
<i>Complejidad de cálculo</i>	sencillo	complejo	muy complejo
<i>Detección de singularidades de la señal</i>	baja	media	alta
<i>Capacidad de reconstruir la señal</i>	baja	media	alta
<i>grado de utilización actual</i>	alto	escaso	muy escaso
<i>detección de armónicos</i>	buena	muy buena	excelente
<i>software para la implementación en tiempo real</i>	básico	complejo	muy complejo

Tabla 1. Comparación de las principales características de las técnicas de procesamiento de señal tratadas.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los trabajos de investigación consultados, se puede evidenciar el creciente interés en los últimos años por el estudio de perturbaciones armónicas presentes en accionamientos eléctricos de control de velocidad compuestos por variadores de frecuencia (VFD) y motores de inducción (Mdl). Sin embargo, existen aún algunos tópicos sin explorar, como es el caso de los motores de inducción de alta eficiencia y eficiencia Premium, de los cuales no se destacan investigaciones recientes para evaluar el contenido armónico que estos motores generan a la red de suministro eléctrico. Tampoco se destacan estudios que realicen un análisis comparativo de la distorsión armónica generada por accionamientos eléctricos de control de velocidad constituidos por motores de eficiencia estándar y motores alta eficiencia y eficiencia Premium, utilizando como herramienta de análisis

las diferentes técnicas de procesamiento de señales (Transformada en Tiempo Corto de Fourier, Transformada Wavelet). Asimismo, no se destacan investigaciones sobre las características electromecánicas de motores de alta eficiencia respecto a motores de eficiencia estándar y su impacto desde el punto de vista de calidad de potencia. Los diferentes métodos de monitoreo y diagnóstico de fallas han sido ampliamente utilizados y evaluados en motores de inducción de propósito general, no obstante, ante la creciente utilización de motores de alta eficiencia y eficiencia Premium, sería pertinente contar con investigaciones que evaluaran la respuesta de las diferentes técnicas de monitoreo y diagnóstico de fallas en motores de alta eficiencia y eficiencia Premium. Por otra parte, la gran mayoría de investigaciones utilizan cargas controladas para realizar los estudios respectivos. Sin embargo, cabe resaltar que en el sector industrial existen un sin número de cargas que tiene un comportamiento no lineal

y con las cuales se podría evaluar la respuesta en tiempo real de las diferentes técnicas de monitoreo y diagnóstico desarrolladas para la detección de fallas en motores de inducción.

5. AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue desarrollado en el proyecto de investigación "Efecto de las perturbaciones en la calidad de energía eléctrica sobre el motor de inducción trifásico. Etapa I: Huecos de tensión, sistemas de tensiones desequilibrado y generación de armónicos" cuyo investigador principal es el doctor Adolfo Andrés Jaramillo, perteneciente al grupo de investigación LIFAE (Laboratorio de Investigación en Fuentes Alternativas de Energía) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, aprobado por el centro de investigación y desarrollo científico, CIDC, bajo convocatoria 008 de 2013.

6. REFERENCIAS

- [1] L. Peñalba and J. Pardo, "Gestión Energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad". *Santander, España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, E.T.S.I.I. y T., Universidad de Cantabria*, p. 8, Consultado el 19 de diciembre de 2014 .
- [2] M. Castelli, J. Fossati and M. Andrade, "Metodología de monitoreo, detección de fallos y diagnóstico en motores asíncronos". *IEEE, 7º encuentro de Energía, Potencia, Instrumentación y Medidas*, pp. 91-98, 2008.
- [3] WEG, Guía Técnica-Motores de inducción alimentados por convertidores de frecuencia PWM, 2010, [en línea], Consultado el 8 de enero de 2015, disponible en: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-induccion-alimentados-por-convertidores-de-velocidad-pwm-029-articulo-tecnico-espanol.pdf>
- [4] Sekar, T.C. and Rabi, B.J. "A Review and Study of Harmonic Mitigation Techniques". *Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM)*, 2012 International Conference on, vol., no., pp.93-97, 2012, doi: 10.1109/ICETEEEM.2012.6494450.
- [5] Reid, W.E. "Power Quality ISSues-Standards and Guidelines". *IEEE Transactions on Industry Applications Conference*, vol. 32, pp. 625-632, 1996, doi: 10.1109/28.502175.
- [6] CIRCUTOR, *Procedimientos para el estudio y análisis de perturbaciones armónicas*. Viladecavalls -España, p. 20, 2009.
- [7] C. Torres, *Análisis, descripción y comparación de los métodos de Fourier y Wavelet aplicados a la identificación de características dinámicas en estructuras*. Tesis de pregrado, Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de físico-mecánicas, 2011.
- [8] N. Nieto and D. Orozco, "The use of the discrete Wavelet transform in the reconstruction of sinusoidal signals". *Scientia et Technica-XIV*, vol. 38, pp. 381-386, 2008.
- [9] L. Martínez, *Computación paralela de la transformada Wavelet; aplicaciones de la Transformada Wavelet al álgebra lineal numérica*. Tesis Doctoral, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Sistemas Informáticos, 2009.
- [10] O. Rioul and M. Vetterli, "Wavelets and Signal Processing". *IEEE SP Magazine*, vol. 8, pp. 14-38, 1991.
- [11] E. Rivas, *Detección de averías en cambiadores de tomas en carga de transformadores basado en el patrón de vibraciones*. Tesis doctoral, Madrid, Universidad Carlos III Departamentos de ingeniería eléctrica e ingeniería mecánica, 2009.
- [12] A. Ferrah, K. Bradley and G. Asher, "Application of the FFT to the speed measurement of inverter fed induction motors". *Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC '92), 9th IEEE*, pp. 647-652, 1992, doi: 10.1109/IMTC.1992.245059.
- [13] A. Ferrah, K. Bradley and G. Asher, "Sensorless speed detection of inverter fed induction

- motors using rotor slot harmonics and fast fourier transform". *Power Electronics Specialists Conference, IEEE*, vol. 1, pp. 279-286, 1992.
- [14] R. Blasco, M. Sumner and G. M. Asher, "Speed measurement of inverter fed induction motors using the FFT and the rotor slot harmonics". *Power Electronics and Variable-Speed Drives, 1994. Fifth International Conference on*, vol., no., pp.470-475, 1994 doi: 10.1049/cp:19941011.
- [15] R. Blasco-Giménez, G. Asher, M. Sumner and K. Bradley, "Performance of FFT-rotor slot harmonic speed detector for sensorless induction motor drives". *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, vol. 43, pp. 258-268, 1996, doi: 10.1049/ip-epa:19960241.
- [16] M. Benbouzid, H. Nejjari, R. Beguenane and M. Vieira, "Induction Motor Asymmetrical Faults Detection Using Advanced Signal Processing Techniques". *Energy Conversion, IEEE*, vol. 14, pp. 147-152, 1999, doi: 10.1109/60.766963.
- [17] B. Ayhan, M.-Y. Chow, H. Trussell and M.-H. Song, "A case study on the comparison of non-parametric spectrum methods for broken rotor bar fault detection". *Industrial Electronics Society, IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE*, vol. 3, pp. 2835-2840, 2003, doi: 10.1109/IECON.2003.1280697.
- [18] L. Dimitrov and V. Chobanov, "Diagnosis of rotor faults of induction motors, operated in non-rated conditions". *Electronics Technology: Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress*, vol. 1, pp. 110-113, 2004, doi: 10.1109/ISSE.2004.1490387.
- [19] F. Ruiming and M. Hongzhong, "Application of MCSA and SVM to Induction Machine Rotor Fault Diagnosis". *Intelligent Control and Automation, WCICA 2006. The Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation*, vol. 2, pp. 5543-5547, 2006.
- [20] K. Siddiqui and V. Giri, "Broken Rotor Bar Fault Detection in Induction Motors using Transient Current Analysis". *International Journal on Electronics & Communication Technology (IJECT)*, vol. 2, pp. 114-119, 2011.
- [21] K. Gaeid, H. Ping, M. Khalid and A. Salih, "Fault Diagnosis of Induction Motor Using MCSA and FFT". *Electrical and Electronic Engineering*, 1 (2), pp. 85-92, 2011, doi: 10.5923/j.eee.20110102.14.
- [22] M. Castelli, J. Fossati and M. Andrade, "New Methodology to Faults Detection in Induction Motors via MCSA". *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, IEEE/PES*, pp. 1-6, 2008, doi: 10.1109/TDC-LA.2008.4641817.
- [23] D. Hwang, Y. Youn, J. Ho Sun and Y. Hwa Kim, "Robust Diagnosis Algorithm for Identifying Broken Rotor Bar Faults in Induction Motors". *Journal of Electrical Engineering & Technology (JEET)*, vol. 8, pp. 742-749, 2013.
- [24] M. Armaki and R. Roshanfekr, "A New Approach for Fault Detection of Broken Rotor Bars in Induction Motor Based on Support Vector Machine". *Electrical Engineering (ICEE)*, pp. 732 -738, 2010, doi: 10.1109/IRANIAN-CEE.2010.5506976.
- [25] C. Marcelo, J. Fossatti and J. Terra, "Fault Diagnosis of Induction Motors Based on FFT". *Fourier Transform -Signal Processing*, ISBN: 978-953-51-0453-7, In Tech, Uruguay, Dr Salih Mohammed Salih (Ed.), pp.157-182, 2012.
- [26] B. Biswas, S. Das, P. Purkait, M. Mandal and D. Mitra, "Current Harmonics Analysis of Inverter-Fed Induction Motor Drive System under Fault Conditions". *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS)*, vol. 2, pp. 1-5, 2009.
- [27] M. Mehrotra and A. Pandey, "Harmonics analysis of VSI fed induction motor drive". *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol. 5, pp. 36-40, 2012.
- [28] J. Cortes, F. Medina and J. Chaves, "Del análisis de Fourier a las Wavelets, análisis de Fourier". *Scientia et Technica-XIII*, vol. 34, pp. 151-156, 2007.

- [29] N. Mehala and R. Dahiya, "Condition monitoring methods, failure identification and analysis for Induction machines". *International journal of circuits, systems and signal processing*, vol. 3, pp. 10-17, 2009.
- [30] A. Zayed, I., "Hilbert transform associated with the fractional fourier transform". *Signal Processing Letters, IEEE*, vol. 5, pp. 206 -208, 1998, doi: 10.1109/97.704973.
- [31] S. Mallat, "Wavelet Tour on Signal Processing". In *Academic Press*, Second edition, pp. 220-314, 1999.
- [32] E. Strangas, S. Aviyente and S. Zaidi, "Time-Frequency Analysis for Efficient Fault Diagnosis and Failure Prognosis for Interior Permanent-Magnet AC Motors". *Industrial Electronics, IEEE*, vol. 55, pp. 4191-4199, 2008.
- [33] N. Mehala and R. Dahiya, "A Comparative Study of FFT, STFT and Wavelet Techniques for Induction Machine Fault Diagnostic Analysis". *CIMMACS'08 Proceedings of the 7th WSEAS international conference on Computational intelligence, man-machine systems and cybernetics*, pp. 203-208, 2009.
- [34] K. Siddiqui and V. Giri, "Broken Rotor Bar Fault Detection in Induction Motors using Transient Current Analysis". *International Journal on Electronics & Communication Technology (IJECT)*, vol. 2, pp. 114-119, 2011.
- [35] H. Arabacı and O. Bilgin, "Effects of Rotor Faults in Squirrel-Cage Induction Motors on The Torque-speed curve". *XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Rome, pp. 1-5, 2010.
- [36] J. García, E. García and J. Romeral, "Failure Detection In Induction Machines Based On Wavelet Transform And STFT". *Visión Electrónica: algo más que un estado sólido, [S.l.]*, vol. 5, pp. 38-47, 2011.
- [37] S. Taskin and H. Gokozan, "Determination of the Spectral Properties and Harmonic Levels for Driving an Induction Motor by an Inverter Driver under the Different Load Conditions". *Electronic & Electrical Engineering*, pp. 75-80, 2011, ISSN: 1392-1215.
- [38] E. Luna-Gómez, D. Silva and G. Aponte, "Selection of a mother wavelet for frequency analysis of transient electrical signals using WPD". *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, pp. 262-270, 2013.
- [39] E. Serrano, "Introducción a la Transformada Wavelet y sus aplicaciones al procesamiento de señales de emisión acústica". *Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de General San Martín*, p. 15, 2002.
- [40] R. Reyes, *Aplicación de la Transformada wavelet en el análisis de calidad de la energía*. México, Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad profesional Adolfo López Mateos, 2009.
- [41] Q. Xiu, L. Hai-Lian and D. Guang-Jin, "The fault-character of the motors identified based on Wavelet transform". *Machine Learning and Cybernetics, IEEE*, vol. 4, pp. 2394-2398, 2003, doi: 10.1109/ICMLC.2003.1259911.
- [42] M. Aerhpanahi, S. Sadeghi and A. Roknabadi, "Broken Rotor Bar Detection in Induction Motor via Stator Current Derivative". *Industrial Technology, IEEE*, vol. 3, pp. 1363-1367, 2004, doi: 10.1109/ICIT.2004.1490759.
- [43] Department of Electrical and Computer Engineering Energy Systems Laboratory, "Modeling and Characterization of Induction Motor Internal Faults Using Finite-Element and Discrete Wavelet Transforms". *Electric Ship Technologies Symposium, (ESTS)*, pp. 250-253, 2006.
- [44] A. Daviu, M. Riera, J. Folch and P. Molina, "Validation of a New Method for the Diagnosis of Rotor Bar Failures via Wavelet Transform in Industrial Induction Machines". *IEEE Transactions on*, vol.42, no.4, pp.990-996, 2006, doi: 10.1109/TIA.2006.876082.
- [45] L. Cusido, A. Romeral, J. García, J. Rosero and A. Ortega, "Fault detection in Induction Machines by using Continuous and Discrete Wa-

- velet Decomposition". *Power Electronics and Applications, IEEE*, p. 8, 2007, doi: 10.1109/EPE.2007.4417512.
- [46] G. Qianjin, L. Xiaoli, Y. Haibin, C. W. Xiangzhi and H. Jingtao, "Fault Monitoring and Diagnosis of Induction Machines Based on Harmonic Wavelet Transform and Wavelet Neural Network". *Natural Computation, ICNC '08. Fourth International Conference, IEEE*, vol. 4, pp. 140-146, 2008, doi: 10.1109/ICNC.2008.663.
- [47] I. Georgakopoulos and E. Mitronikas, "Condition Monitoring of an Inverter-Driven Induction Motor Using Wavelets". *Advanced Electromechanical Motion Systems & Electric Drives Joint Symposium, Electromotion, CFP0910I-ART*, pp. 1-5, 2009, doi: 10.1109/ELECTROMOTION.2009.5259128.
- [48] B. Ahcène, T. Omar, I. Rachid, B. Adel, F. Maurice and A. Rezzoug, "Fault diagnosis in industrial induction machines through discrete Wavelet transform". *Industrial Electronics, IEEE*, vol. 58, pp. 4385-4395, 2010, doi: 10.1109/TIE.2010.2095391.
- [49] E. Schmitt, P. Idowu and A. Morales, "Applications of Wavelets in Induction Machine Fault Detection". *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 18, pp. 158-164, 2010.
- [50] H. Bae, Y. Kim, S. Kim, S. Lee and B. Wang, "Fault Detection of Induction Motors Using Fourier and Wavelet Analysis". *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, vol. 8, pp. 431-432, 2004.
- [51] Menacer, A. Kechida, R. Champenois, G. Tnani, S. "Application of the Fourier and the Wavelet Transform for the Fault Detection in Induction Motors at the Startup Electromagnetic Torque". *Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics & Drives (SDEMPED)*, pp. 664-668, 2011, doi: 10.1109/DEMPEP.2011.6063695.
- [52] U. Hiwase and S. Warkad, "Fault Detection (Condition Monitoring) of Induction Motor based on Wavelet Transform". *International Journal of Electrical and Electronics Engineering (IJEEE)*, vol. 1, pp. 97-100, 2012.





Implementación en FPGA de un clasificador de movimientos de la mano usando señales EMG

FPGA implementation of a hand motions classifier using EMG signals

David Alexander Reyes López¹ Mauricio Arias López²
Jorge Enrique Duarte Sánchez³ Humberto Loaiza Correa⁴

Para citar este artículo: Reyes, D.A., Arias, M., Duarte, J.E. y Loaiza, H. (2015). Implementación en FPGA de un clasificador de movimientos de la mano usando señales EMG. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 85-94.

Recibido: 04-febrero-2015 / **Aprobado:** 10-junio-2015

Resumen

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un clasificador de señales electromiográficas (EMG) para tres movimientos de la mano: flexión, extensión y cierre, usando dos músculos del antebrazo, palmar largo y extensor común de los dedos. El desarrollo comprende dos bloques principales, el hardware para la adquisición y adecuación de la señales EMG analógicas y el sistema de procesamiento para la identificación y clasificación del movimiento realizado; el sistema completo fue implementado en hardware usando un kit de desarrollo DE2-70 que cuenta con un FPGA Cyclone II de Altera. Para la extracción de características se implementó la Transformada Rápida de Fourier (FFT), para cada canal, a la cual se le calcularon técnicas de procesamiento como la varianza y el promedio. Finalmente, se establece un umbral de decisión para identificar el movimiento

realizado. El tiempo de respuesta del sistema total fue de 17,7 us, obteniendo una tasa de identificación mayor al 87%.

Palabras clave: clasificador de movimientos, FPGA, señales EMG, tiempo real.

Abstract

This paper presents the design and implementation of a hand motions classifier using electromyographic (EMG) signals. The classified motions are: wrist flexion, wrist extension and hand closure. The motions are classified using two forearm muscles: longus palmar and extensor digitorum. This work was implemented in two principal blocks: the acquisition and adequacy of the EMG signal, and the processing system for the identification and classification of the motion made. The processing system

1. Ingeniero electrónico, Universidad del Valle, actualmente realiza estudios de maestría con énfasis en electrónica en la Universidad del Valle. El campo de investigación que trabaja es el tratamiento y procesamiento de señales biológicas mediante el uso de la inteligencia artificial.
2. Ingeniero electrónico, Universidad del Valle, actualmente realiza estudios de maestría con énfasis en electrónica en la Universidad del Valle. El campo de investigación que trabaja es el procesamiento e implementación en sistemas embebidos como FPGA. Contacto: mauricio.arias_lopez@correounivalle.edu.co
3. Ingeniero electrónico, Universidad del Valle, actualmente realiza estudios de maestría con énfasis en electrónica en la Universidad del Valle. El campo de investigación que trabaja es la implementación de algoritmos cuánticos en sistemas embebidos como FPGA. Contacto: jorge.enrique.duarte@correounivalle.edu.co
4. Ingeniero electricista, Universidad del Valle, magíster en Automática de la Universidad del Valle y Doctor en Robótica de la Université Evry Val d'Essonne. Profesor titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle. Contacto: humberto.loaiza@correounivalle.edu.co

was implemented on hardware using a development kit with a Cyclone II FPGA from Altera. For the feature extraction the Fast Fourier Transform (FFT) is performed at each channel and some features like variance and mean are calculated. Finally, a threshold decision block is used to identify the motion. The system have a time response of 17,7 us, obtaining an identification rate higher than 87%.

Keywords: EMG signals, FPGA, motion classifier, real time.

1. INTRODUCCIÓN

Las señales electromiográficas (EMG) son el registro de la actividad eléctrica que se genera en el tejido muscular, producidas durante el proceso de contracción y relajación de los músculos. Es decir, que el electromiograma consiste en un tren aleatorio de potenciales de acción que se registran extracelularmente y que son generados por las fibras musculares acompañadas de un trabajo mecánico. Dichas señales dan una idea de la actividad neuromuscular asociada a una contracción, pero no indica necesariamente la fuerza desarrollada por el músculo, sino cuál músculo se activa más por el sistema nervioso central e indirectamente qué músculo presta una función más protagónica en una función o movimiento particular [1]. Las principales características de las señales EMG es que presentan una amplitud de naturaleza aleatoria que varía en el rango de [0-10] mV con una energía útil en el rango de frecuencias de 20 a 500 Hz [2].

Las señales EMG presentan una amplitud de naturaleza aleatoria que varía en el rango de [0-10] mV, con una energía útil en el rango de frecuencias de 20 a 500 Hz [2].

A partir de mediados del siglo XX se inició la época de continuos avances en el registro de la actividad

eléctrica de los músculos a partir de señales EMG, gracias a pioneros como Du Bois Reymond (1849), Piper (1912) y Adrian Brooke (1929) [3]. El avance de la tecnología, de la adquisición de señales biológicas y del procesamiento de datos, permiten usar estas señales EMG en un amplio rango de aplicaciones como señales de control para dispositivos electrónicos e incluso para control de prótesis inteligentes.

El sistema propuesto se trabajó en dos etapas de desarrollo, las cuales fueron subdivididas en fases; la primera etapa está dividida en tres fases: adquisición-adequación analógica, transmisión y digitalización de las señales EMG. La segunda etapa corresponde al diseño del hardware implementado en FPGA, que es el encargado de procesar las señales EMG adquiridas. Cada etapa, a su vez, esta subdivida en varias subetapas. En la figura 1 se observa el diagrama de bloques de cada etapa que se implementó durante el desarrollo del sistema integral mioeléctrico de dos canales de adquisición.

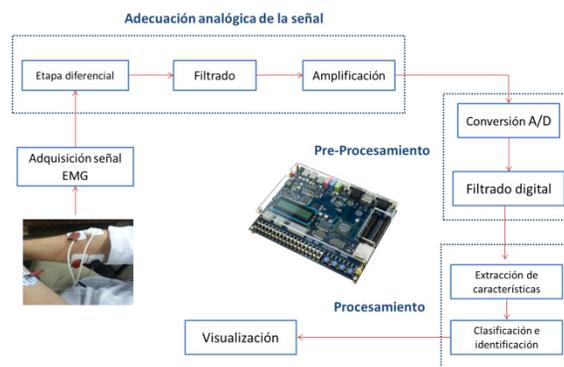


Figura 1. Diagrama de bloques de la implementación realizada.

2. ADQUISICIÓN Y ADECUACIÓN DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS

En este trabajo se implementó un sistema hardware de captura analógica de dos canales, que obtiene las señales EMG de manera superficial, de tal forma que la adquisición de las señales puede ser realizada con un mínimo de riesgo sobre el paciente

[4]. Se utilizaron electrodos desechables de cardiografía Ag-AgCl monopolares. La salida de los electrodos se conecta a un bloque de procesamiento analógico constituido por etapas de amplificación y filtrado. En esta etapa se adecuó la señal al rango de amplitud que el códec de audio del kit de desarrollo DE2-70 permite, ya que este es el encargado de digitalizar la señal analógica acondicionada. El valor de rango oscila entre -1 y 1 V.

2.1. Adquisición de la señal

En [5], [6] y [7] se asegura que los músculos que más intervienen en los movimientos de la mano son los del antebrazo. En este trabajo se seleccionaron los músculos extensor común de los dedos (EX) y palmar largo (PL). La ubicación de los electrodos es de gran importancia y su mal posicionamiento puede generar resultados no deseados [8]. En la figura 2 se aprecia el lugar donde se ubicaron los electrodos para adquirir correctamente la señales EMG; se posicionó el electrodo de referencia (REF) en un músculo que no interviene en el movimiento, el cual se ubicó en el antebrazo contrario. Para cada músculo se utilizaron dos electrodos.

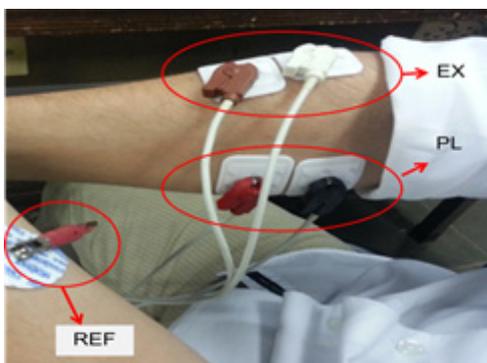


Figura 2. Posición de los electrodos para la adquisición de las señales EMG.

2.2. Adecuación analógica de la señal EMG

El sistema desarrollado cuenta con tres subetapas para la adecuación analógica: una primera etapa

diferencial y de pre-amplificación, una etapa de filtrado y por último, una etapa de amplificación.

- *Etapas diferencial y de pre-amplificación*

Se usaron amplificadores de instrumentación que ofrecen una excelente exactitud, ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 10000; la ganancia fijada en esta etapa fue de 1000. Los amplificadores de instrumentación también presentan un alto rechazo de modo común para disminuir los niveles de tensión de las señales parásitas asociadas a las señales tomadas. Esta etapa permite aumentar la fidelidad y precisión de las señales EMG adquiridas; de igual forma, los amplificadores de instrumentación aportan a la seguridad del usuario inmediatamente después de obtener la señal EMG desde los electrodos, ya que presentan una alta impedancia de entrada de aproximadamente 10 GΩ.

- *Etapas de filtrado*

En esta etapa se procedió a eliminar las componentes de ruido de alta y baja frecuencia. La interferencia de 60 Hz no fue filtrada ya que se encuentra dentro del rango de frecuencias útiles de las señales EMG de acuerdo con [8], [9], [10] y [11] y, por otra parte, el sistema desarrollado es alimentado con una batería de 9V. Aunque la mayor concentración de energía de las señales EMG se encuentra entre los 50 Hz y los 150 Hz, su canal de información va de los 20 Hz a los 500 Hz [11]. Se implementó un filtro analógico tipo Butterworth paso bajo de orden 2 con frecuencia de corte $F_c=600$ Hz, debido a que en su implementación no requiere de muchos componentes electrónicos y presenta una buena respuesta en frecuencia. Las frecuencias bajas se filtraron digitalmente mediante la implementación de un filtro FIR. La figura 3 muestra el circuito analógico y la respuesta en frecuencia del filtro analógico implementado, para el cual se realizó un barrido de frecuencias a fin de establecer su respuesta, que según se observa, es la deseada.

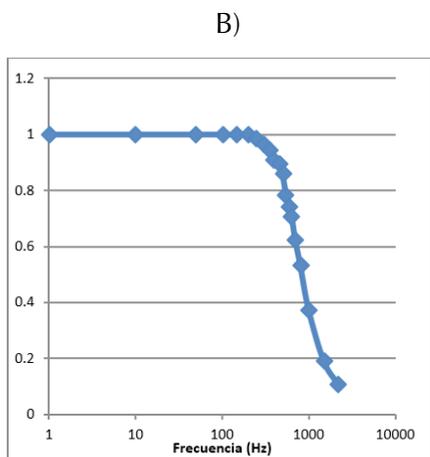
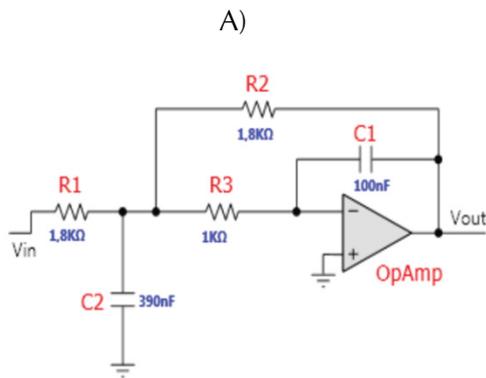


Figura 3. A) Diagrama esquemático del circuito analógico implementado. B) Respuesta en frecuencia analógica del filtro implementado.

- *Etapas de amplificación*

La etapa de amplificación es necesaria para obtener una mejor resolución en los datos a procesar. Se implementó un amplificador inversor con ganancia 2.

- *Alimentación del circuito*

Para la alimentación del circuito se usa una batería de 9V con el propósito de evitar interferencias de la línea de energía. Se utilizó el regulador 7805 para alcanzar 5V, y el circuito integrado LMC7660 a fin de obtener -5V. El diagrama esquemático diseñado se muestra en la figura 4.

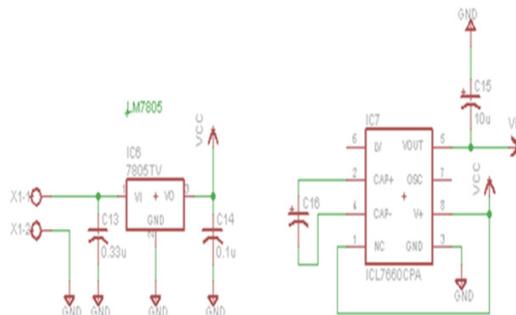


Figura 4. Diagrama esquemático diseñado para la alimentación del circuito de adquisición-adequación analógico.

En la figura 5 se observan los dos canales de las señales EMG adquiridas con el sistema hardware diseñado, para comprobar su correcto funcionamiento, posicionando los electrodos de acuerdo con la figura 2. El canal superior corresponde al músculo palmar largo (PL) y el inferior al extensor (EX).

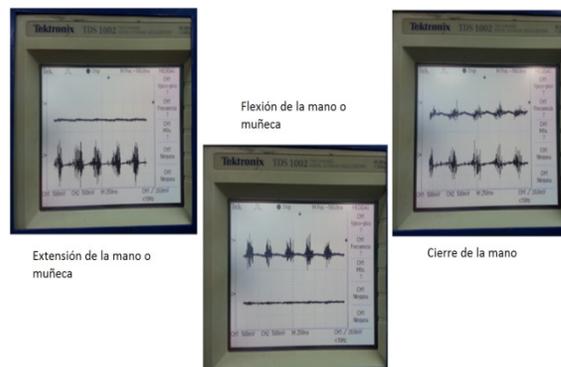


Figura 5. Señales EMG adquiridas con el sistema hardware diseñado de dos canales.

3. PROCESAMIENTO DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS

Se desarrolló una aplicación computacional en MATLAB, de la cual se seleccionaron las técnicas de procesamiento a implementar en FPGA, siguiendo el diagrama de bloques de la figura 6.



Figura 6. Diagrama de bloques para la etapa de procesamiento de las señales EMG implementada en FPGA.

3.1. Digitalización

Para la realizar la conversión analógica-digital se configuró el códec de audio que se encuentra en el kit de desarrollo DE2-70 de Terasic, con una frecuencia de muestreo de 8 kHz (frecuencia mínima del códec) conservando la relación de Nyquist. Cada muestra obtenida es de 16 bits. Es importante mencionar que las tarjetas de desarrollo que diseña Altera cuenta con todos los estándares de seguridad al igual que las tarjetas de sonido que se encuentran en cada kit y en los ordenadores, logrando una interfaz a través del micrófono o los audífonos; de igual manera cuentan con una alta impedancia de entrada lo que genera mayor seguridad en el usuario.

3.2. Etapa de pre-procesamiento

El pre-procesamiento se realizó a fin de acondicionar las señales EMG digitales y así obtener mejores resultados en la extracción de características. Fueron usadas las técnicas de procesamiento: filtrado, detección de señales EMG, normalización y segmentación.

- *Filtrado*

El filtro digital se diseñó usando la herramienta de Matlab, la cual proporciona los coeficientes a ser implementados en FPGA. La figura 7 muestra el

diagrama de bloques del proceso que se llevó a cabo para el diseño del filtro digital.

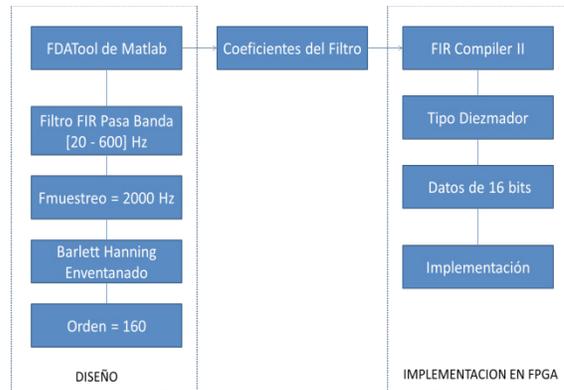


Figura 7. Diagrama de bloques para el proceso de filtrado.

Para realizar la implementación en FPGA se configuró un filtro FIR pasabanda con frecuencia de corte [20-600] Hz, de orden 160 tipo diezmador con el fin de reducir la tasa de muestreo hasta una frecuencia de 2 kHz. Se utilizó la mega función FIR Compiler II de la herramienta de diseño y compilación para FPGAs, Quartus II de Altera. La figura 8 muestra la respuesta en frecuencia del filtro diseñado e implementado, que permite comprobar el buen funcionamiento de implementación del filtro en FPGA.

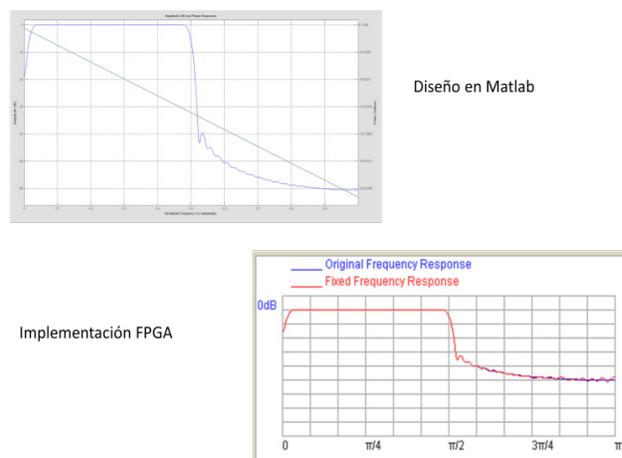


Figura 8. Respuesta en frecuencia del filtro diseñado e implementado.

- *Detección de señales EMG y normalización*

Para la detección de señales EMG se evaluaron diversos valores de umbrales debido a que en la literatura no se especifica un valor fijo. En [12] se hace referencia a que el uso de un único valor umbral para diferentes intensidades de ejercicio y diferentes grupos de músculos puede causar resultados engañosos. De este modo, los investigadores pueden necesitar hacer uso de diferentes estrategias para establecer un valor de umbral. Como resultado de ello, no recomiendan ningún valor umbral definido debido a la naturaleza altamente variable del proceso de selección. En este trabajo y, después de una serie de evaluaciones, el umbral con mejor comportamiento para la detección de actividad muscular con señales EMG fue de 90 mV.

Luego de que una señal EMG es detectada, se llena un buffer en donde se calcula el valor máximo de la señal adquirida y se almacena en un registro para ser usado en el proceso de normalización, en donde se dividen todas las muestras de la señal por ese valor máximo.

- *Segmentación*

Para el análisis de señales EMG lo más común es obtener los registros en segmentos de longitud de 256 muestras y aplicar las técnicas de extracción de características a cada segmento [13]. Por su parte [6] y [14] usan la longitud de los segmentos en 256, 128, 64 y 32 muestras en cada ensayo; otros trabajos como en [15], [16] y [17] utilizan ventanas rectangulares de 200 y 400 ms, igualmente con resultados satisfactorios, pero cabe anotar que longitudes mayores de 256 muestras impondrá mayor tiempo de procesamiento y, en consecuencia, mayor retardo en la respuesta deseada. Se realizó una segmentación correspondiente a 256 muestras.

3.3. Extracción de características y reducción de dimensionalidad

En trabajos como [2], [3], [4], [5] y [14] se trabaja con técnicas de procesamiento en espacios temporales y frecuenciales obteniendo buenos resultados, en este trabajo, en la etapa de extracción de características, se implementó la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a las muestras de los dos canales y se calcularon técnicas estadísticas, como su promedio y varianza, las cuales son técnicas de procesamiento que no generan un alto costo computacional y no presentan una alta complejidad en su implementación. Luego, para reducir la dimensión del vector de características se calcula una relación (cociente) entre las varianzas y los promedios de los dos canales. El proceso de extracción de características y reducción de dimensionalidad se implementó en FPGA de acuerdo con el diagrama de bloques de la figura 9.

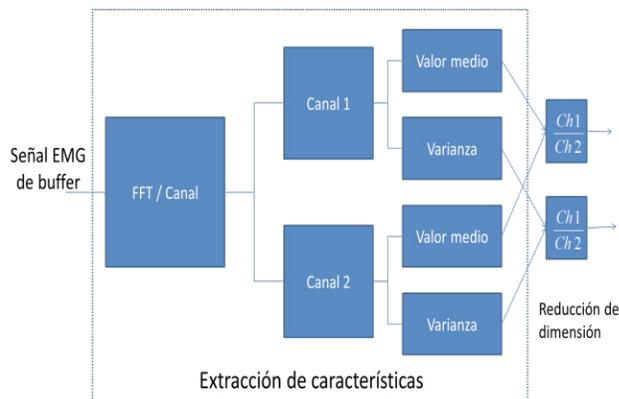


Figura 9. Diagrama de bloques del proceso de extracción y reducción de la dimensión.

Para la implementación de la FFT se utilizó un core IP con licencia libre de Unicore Systems obtenido en el sitio web *openCores* [18]. La FFT es de 256 puntos y utiliza radix-8, tiene una arquitectura pipeline y los resultados son obtenidos de forma secuencial.

3.4. Identificación de las señales EMG

Después de obtener las características en una menor dimensión se procede a hacer la identificación del movimiento a partir de umbrales establecidos para la clasificación de los mismos. En la tabla 1 se muestran los umbrales implementados en FPGA para la identificación de los movimientos:

Tabla 1. Valores de los umbrales para la identificación del movimiento.

Relación de característica	Umbral		
Valor medio	Ch1/Ch2 > 2.3	$0.9 \leq \text{Ch1/Ch2} < 2.3$	Ch1/Ch2 < 0.9
	Extensión mano	Cierre mano	Flexión mano
Varianza	Ch1/Ch2 > 8	$0.7 \leq \text{Ch1/Ch2} < 8$	Ch1/Ch2 < 0.7
	Extensión mano	Cierre mano	Flexión mano

3.5. Control implementado con una máquina de estados

En la figura 10 se muestra un diagrama general de la máquina de estado (FSM) implementada para el control del sistema. A continuación se presenta una descripción de los estados:

S0: estado de reset.

S1: la señal EMG supera el umbral definido para la detección e inicia la etapa de pre-procesamiento.

S2: indica que el *buffer* de almacenamiento temporal de las señales EMG segmentadas a 200 ms, se encuentra lleno y listo para la etapa de procesamiento.

S3: cuando no se identifica un movimiento, se realiza el proceso de nuevo dos veces más. Este estado se activa cuando ya es la tercera vez.

S4: indica el inicio de la etapa de procesamiento.

S5: comienza a sacar los datos hasta que la FIFO este vacía para realizar el proceso de extracción de características, reducción de dimensionalidad e identificación.

S6: indica que los datos están listos para su visualización.

S7: estado de validación, muestra si el dato es válido o no, si la señal de control indica 111 el dato es inválido y vuelve a realizar todo el proceso de nuevo hasta tres veces. Si no, va al S9.

S8: si ya se realizó el proceso tres veces y se identificó el movimiento se procede al próximo estado, de lo contrario vuelve al estado inicial.

S9: estado de visualización del movimiento capturado e identificado. El resultado se visualiza por un segundo, después vuelve al estado inicial.

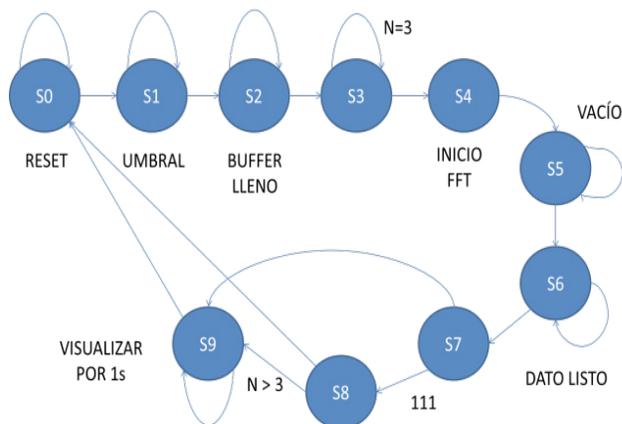


Figura 10. Máquina de estados diseñada para el control de la aplicación en FPGA.

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se hicieron pruebas del sistema implementado con tres sujetos sanos seleccionados aleatoriamente. Cada sujeto recibió una explicación sobre la metodología a seguir para el uso de la aplicación EMG, para ello se palparon los músculos seleccionados en el antebrazo de cada usuario, se preparó la sección seleccionada con gel para mejorar la conductividad eléctrica, se situó al sujeto en una silla y se posicionaron los electrodos. Los aciertos corresponden a la visualización correcta de los movimientos realizados en la LCD del kit DE2-70, todas las pruebas tuvieron respuesta en tiempo real, los movimientos que se identificaron se muestran en la figura 11.

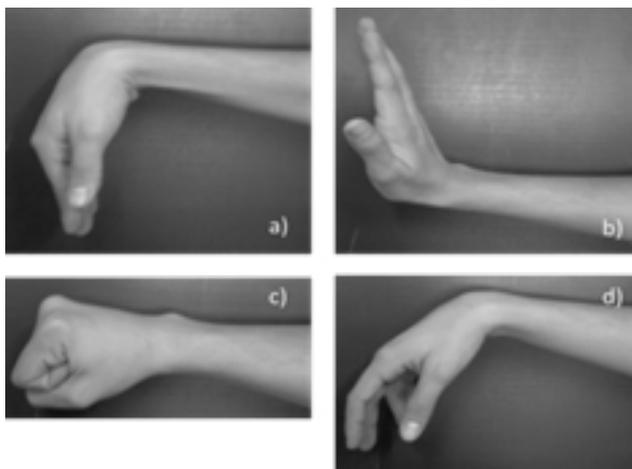


Figura 11. Movimientos identificados en el trabajo a) Flexión de la mano, b) Extensión de la mano, c) Cierre de la mano, d) Estado de reposo.

La metodología de las pruebas consistió en que el sujeto realizara diez movimientos, de cada uno de los que se van a clasificar, observando la salida en la LCD del kit de desarrollo. Se estableció un retardo en la visualización en la LCD del kit, debido a que el tiempo de respuesta es rápido, menor a los 18 us. La figura 12 muestra los resultados obtenidos.

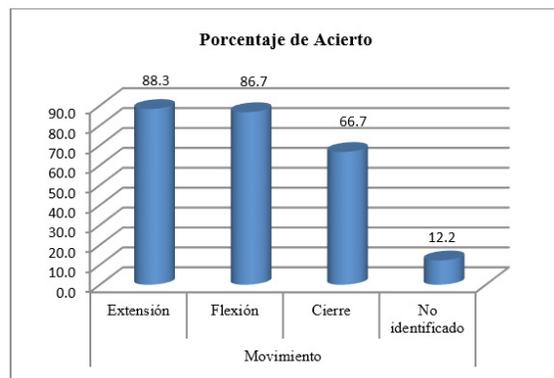


Figura 12. Porcentaje de acierto en las pruebas realizadas.

Los resultados de compilación evidencian que la etapa de procesamiento del diseño (incluyendo el filtro y la FFT) consume el 13% de los recursos del FPGA disponible en la tarjeta DE2-70, y puede operar a una frecuencia máxima de 112MHz; sin embargo, las pruebas se realizaron utilizando un reloj de 50MHz.

5. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un sistema que captura las señales EMG de músculos del antebrazo para la identificación de tres movimientos de la mano (flexión, extensión y cierre) realizando el procesamiento en un sistema embebido, que se encuentra en el kit de desarrollo de Altera DE2-70 con un FPGA Cyclone II EP2C70F896C6N, el cual presentó una mayor velocidad de procesamiento, alto paralelismo y se pudo configurar para aplicaciones de uso específico.

El uso de funciones en el tiempo para la FFT arrojó buenos resultados para la identificación de las señales EMG en FPGA, ya que muestra el comportamiento de los datos pero en el espacio frecuencial; por otro lado, se utilizó menos del 15% en los recursos del FPGA, trabajando a una frecuencia rápida (50 MHz) y obteniendo una respuesta en la identificación del movimiento en 17.7 us. De igual forma se aprovecharon los recursos

que se encuentran en el kit de desarrollo DE2-70, mediante la configuración del códec de audio presente en este para el proceso de conversión analógica-digital.

La ubicación de los electrodos es un factor muy importante para el correcto funcionamiento del dispositivo, ya que si se hace erróneamente los resultados arrojados por el sistema podrían no ser los esperados.

Aunque el kit de desarrollo DE2-70 se conecta a la red eléctrica, en las pruebas realizadas el sistema identificó los movimientos realizados por los sujetos que participaron voluntariamente a través de un circuito que se alimenta con batería y que presenta altas impedancias de entrada, tanto en la adquisición de la señal como en la conversión AD, para garantizar la seguridad del usuario.

6. REFERENCIAS

- [1] D. Farina, N. Jiang and H. Rehbaum A. Holobar, B. Graimann, H. Dietl, and O. C. Aszmann "The extraction of neural information from the surface EMG for the control of upper-limb prostheses: Emerging avenues and challenges". *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 22, issue 4, pp. 797-809, 2014.
- [2] G. Betancourt, E. Giraldo y J. Franco, "Reconocimiento de patrones de movimiento a partir de señales electromiográficas". *Scientia et Technica*, año 10, no. 26, pp. 53-58, diciembre, 2004.
- [3] L. Banguero, *SEMG para control de prótesis mioeléctricas*. Escuela de Ingeniería de Antioquia e Instituto de Ciencias de la Salud, 2006.
- [4] J. Villarejo, *Detección de la intención de movimiento durante la marcha a partir de señales electromiográficas*. Cali, Universidad del Valle, 2007.
- [5] D. Reyes y C. Cifuentes, *Diseño de un mouse electromiográfico*. Cali, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Valle, 2011.
- [6] R. Morales, D. Morales y V. Grisales, "Caracterización de señales electromiográficas para la discriminación de seis movimientos de la mano". *Scientia et Technica*, año 15, no. 42, pp. 278-283, agosto, 2009.
- [7] K. Anam, R. Khushaba and A. Al-Jumaily, "Two-channel surface electromyography for individual and combined finger movements". *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*. pp 4961-4964, 2013.
- [8] A. Al-Timemy, G. Bugmann, J. Escudero and N. Outram, "Classification of finger movements for the dexterous hand prosthesis control with surface electromyography". *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 17, issue 3, pp. 608-618, 2013.
- [9] F. Rodríguez y M. Chávez, *Instrumentación electrónica de un exoesqueleto para rehabilitación asistida de rodilla*. Cali, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad del Valle, 2010.
- [10] S. Day, M. Djupsjöbacka, B. Gerdle and S. Karlsson, "Acquisition, Processing and Analysis of the Surface Electromyogram". *Modern Techniques in Neuroscience Research*. Chapter 26, pp. 705-755, Berlin, Ed. Windhorst U. & Johanson H. Springer Verlag 1999.
- [11] H. A. Romo, J. Realpe y P. Jojoa, "Análisis de señales EMG superficiales y su aplicación en control de prótesis de mano". *Revista Avances en Sistemas e Informática*, vol. 4, no. 1, junio, 2007.
- [12] K. Özgünen, U. Çelik and S. Kurdak, "Determination of an optimal threshold value for muscle activity detection in EMG analysis". *Journal of Sports Science and Medicine*, vol. 9, pp. 620-628, 2010.
- [13] L. Hargrove, K. Englehart and B. Hudgins, "A Comparison of Surface and Intramuscular Myoelectric Signal Classification", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 5, pp. 847-853, 2007.

- [14] K. Englehart, B. Hudgins, P. Parker and M. Stevenson, "Classification of the Myoelectric Signal using Time-Frequency Based Representation". *Medical Engineering & Physics*, 21, pp. 431-438, 1999.
- [15] K. Caballero, L. Duque M., S. Ceballos., J. Ramírez C. y A. Peláez, "Conceptos básicos para el análisis electromiográfico". *Revista CES Odontología*, vol. 15, no. 1, pp. 41-50, 2002.
- [16] A. Orjuela y L. Calôba, *Clasificación de movimientos en extremidades usando redes neuronales: I. Proceso supervisado*. Brasil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- [17] A. Orjuela, L. Calôba, *Clasificación de movimientos en extremidades usando redes neuronales: II. Proceso semi-supervisado*. Brasil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- [18] Opencores, comunidad de libre acceso en desarrollos de hardware, Pipelined Transformada Rápida de Fourier de 256 puntos, Creado: Feb 1, 2010, Actualizado: Jul 30, 2014 [en línea]. Consultado el actualmente se encuentra vigente, fecha: 01/07/2015, disponible en: http://opencores.org/project,pipelined_fft_256





Modelo de gestión de energía eléctrica domiciliaria: propuesta preliminar

Home energy management model: preliminary proposal

Adriana Marcela Vega Escobar¹ Francisco Santamaría² Edwin Rivas Trujillo³

Para citar este artículo: Vega, A.M., Santamaría, F. y Rivas, E. (2015). Modelo de gestión de energía eléctrica domiciliaria: propuesta preliminar. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 95-105.

Recibido: 30-abril-2015 / **Aprobado:** 12-junio-2015

Resumen

Se propone una aproximación conceptual de un modelo de gestión de energía en el hogar, denominado GEDE (Gestión de Energía Eléctrica Domiciliaria), el cual tiene como fin principal contribuir con la eficiencia energética domiciliaria; el modelo involucra protocolos de comunicación, infraestructura y software como herramienta de gestión para la toma de decisiones energéticas, relacionadas con el consumo y/o generación de energía eléctrica por parte del usuario final residencial.

Palabras clave: domótica, monitoreo, protocolos, sistemas de gestión, software.

Abstract

A conceptual approach of a home energy management model called GEDE (acronym in Spanish), which mainly aims at contributing to the domiciliary energy efficiency is proposed; The model involves communication protocols, infrastructure and software as a management tool for making energy decisions related to consumption and / or generation of electricity from the residential end user.

Keywords: domotic, monitoring, protocols, home management, software.

1. Ingeniera Industrial - Universidad América - Colombia. Maestría Ingeniería Industrial - Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Docente Asociada de la Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. avegae@udistrital.edu.co; amvescobar@gmail.com
2. Ingeniero Electricista - Universidad Nacional - Colombia. Maestría Ingeniería Eléctrica - Universidad Nacional - Colombia. Ph. D. en Ingeniería - Universidad Nacional - Colombia. Docente Asociado de la Facultad de Ingeniería - Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia. fsantamariap@udistrital.edu.co; fsantamariap@gmail.com
3. Ingeniero Electricista - Universidad del Valle – Colombia. M. Sc. en Ingeniería Eléctrica - Universidad Carlos III – España. Ph. D. en Ingeniería - Universidad Carlos III - España. Docente Titular de la Facultad de Ingeniería - Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia. erivas@udistrital.edu.co; edwinrivast@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los elementos tradicionales de la cadena de valor de la energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y consumidor [1], hacen que este último sea solo un receptor del servicio sin aportar al sistema ningún valor agregado, ya que el proceso es unidireccional. Sin embargo, en la última década el desarrollo tecnológico a nivel residencial, el cual pretende mejorar la calidad de vida y aumentar el confort del usuario, ha propiciado el incremento del uso de la energía eléctrica, dando apertura a la aparición de los sistemas de gestión de energía en el hogar-HEMS (Home Energy Management System, por sus siglas en inglés), los cuales hacen posible la conexión de dispositivos domésticos en red para su gestión remota como sistema de ahorro en tiempo real [2]. De igual manera, la incorporación de las redes inteligentes, que son una mejora de la infraestructura del sistema de suministro de energía eléctrica [3], al permitir flujos de energía de manera bidireccional por la cadena de valor de la energía eléctrica, ha creado un nuevo escenario energético, en lo que refiere a la participación del usuario final en la toma de decisiones energéticas relacionadas con el consumo y/o generación de energía eléctrica domiciliaria (energías renovables y no renovables). Si bien en aplicaciones domiciliarias es más factible implementar fuentes no renovables, como generadores diesel o micro turbinas, en el sistema propuesto se incluyen fuentes renovables, tales como sistemas fotovoltaicos, ya que representan una alternativa de energía limpia, no suponen riesgos para la salud y sus fuentes son inagotables; además su empleo incide en aspectos relacionados con la concientización de los problemas ambientales y los aportes al sostenimiento del mismo mediante su utilización por parte de los consumidores.

Los autores plantean un modelo conceptual denominado GEDE para gestionar la energía domiciliaria según las necesidades del usuario final,

que en adelante se denominará “usuario activo” del proceso de gestión energética; GEDE habilita la inclusión del uso de energías renovables dentro de las residencias y posibilita la interacción de las tecnologías de la información y las comunicaciones en el proceso de gestión de la energía eléctrica [4].

2. CONCEPTUALIZACIÓN PARA UN MODELO DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA

Los sistemas de gestión de energía en el hogar (HEMS) trabajan conjuntamente con las redes inteligentes y la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) [5] para utilizar la energía eléctrica en las residencias a partir de los principios de eficiencia energética.

En la figura 1 se presenta un resumen de las características más relevantes de algunos sistemas de gestión para el hogar relacionados por la literatura científica entre 1970 y 2014, donde el 91% corresponde a infraestructura, 68% software, 43% comunicación, 38% relación con usuario final y 6% la influencia de las variables externas en los modelos [6]. Dichas características de los sistemas de gestión se definen en los apartados 2.1 a 2.4.

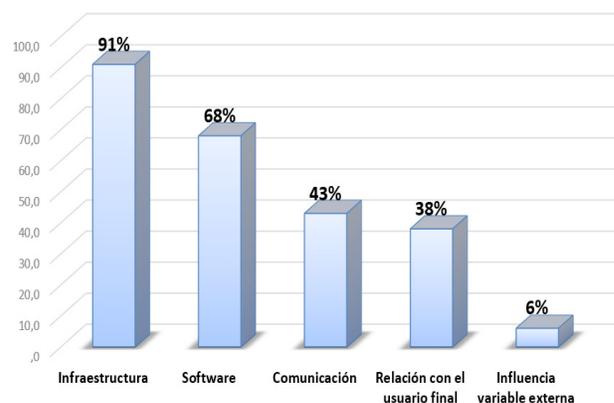


Figura 1. Características de los sistemas de gestión analizados (1970-2014).

2.1. Infraestructura

Los sistemas de gestión energéticos se fundamentan en el monitoreo, control y supervisión de variables eléctricas tales como corriente, voltaje, frecuencia y fase, dentro de una instalación eléctrica; a continuación se presentan algunos de los conceptos involucrados en el aspecto de infraestructura.

Domótica:

Se refiere a la automatización y control de dispositivos y sistemas eléctricos y electrotécnicos de forma centralizada y/o remota en la vivienda, está determinado por una medición avanzada de la infraestructura de red eléctrica domiciliaria con un medidor inteligente programable y dispositivos interconectados [7]. La domótica presta servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, todo controlado por un sistema central para el hogar; su objetivo principal es mejorar la calidad de vida de los usuarios residenciales, proporcionando automatización en las actividades diarias de manera eficiente [8].

Instrumentos de monitoreo:

Los instrumentos para monitoreo están conformados por sensores, adaptadores de señales, sistemas de medida y comunicación, que hacen posible la implementación del sistema de monitoreo que es el fundamento para la supervisión y control. El sistema de monitoreo se implementa con dispositivos electrónicos con funciones de detección, calibración, auto-test, toma de decisiones, comunicación o incluso la combinación de ellos [9]. Parte de estos sistemas se soportan en redes inalámbricas de sensores (WSN), que son redes distribuidas espacialmente con recolección de datos limitados, controlan y gestionan la información de servicios inteligentes como los energéticos [10]. Sin embargo, existen inconvenientes debido a movimientos impredecibles, diseño no estacionario, problemas ergonómicos,

alta dimensionalidad (por la localización exacta el seguimiento se complica) e incertidumbre inevitable (varianza y error) [11]. La nueva generación de medidores inteligentes posee tecnologías de la información y las comunicaciones, ya que no solo proporcionan lecturas de consumo de energía, sino también información adicional de su uso [12].

Se han planteado enfoques para monitorear la carga de los electrodomésticos por diferentes autores, como por ejemplo: B. Powers, y B. Margossian [13], quienes evidencian un algoritmo con normas basado en el reconocimiento de patrones, el cual requiere al menos un sensor por aparato. G. Hard [14] desarrolla un aparato no intrusivo (NALM) para el monitoreo de carga, caracteriza la señal de potencia en etapas sucesivas o eventos y se relacionan con los electrodomésticos. R. Farinaccio y R. Zmeureanu [15] presentan un algoritmo basado en reconocimiento de patrones para el consumo total de electricidad en una casa, asumen un dispositivo constante, que en realidad varía con la carga y su configuración. M. Marceau y R. Zmeureanu [16] muestran un algoritmo de desagregación de carga que compara cada cambio de rango de operación del aparato con la señal de energía total. De otro lado, Z. Younghun, T. Schmid y M. Srivastava [17] presentan sensores indirectos, para evaluar el consumo de energía de los electrodomésticos midiendo las variaciones de campos acústicos y magnéticos cuando los aparatos están encendidos o apagados.

2.2. Comunicación

Los protocolos de comunicación son procedimientos utilizados por los sistemas de domótica para la comunicación entre todos los dispositivos conectados a la red. Los protocolos pueden ser del tipo estándar abierto (uso libre para todos), estándar bajo licencia (abierto para todos bajo licencia) o propietario (uso exclusivo del fabricante o los fabricantes propietarios) [18]. En la figura 2, se observa la relación de los protocolos con las redes

de comunicación y los que están directamente involucrados a nivel domiciliario, al igual que su interacción dentro del Modelo OSI (Open System Interconnection) de comunicaciones [19].

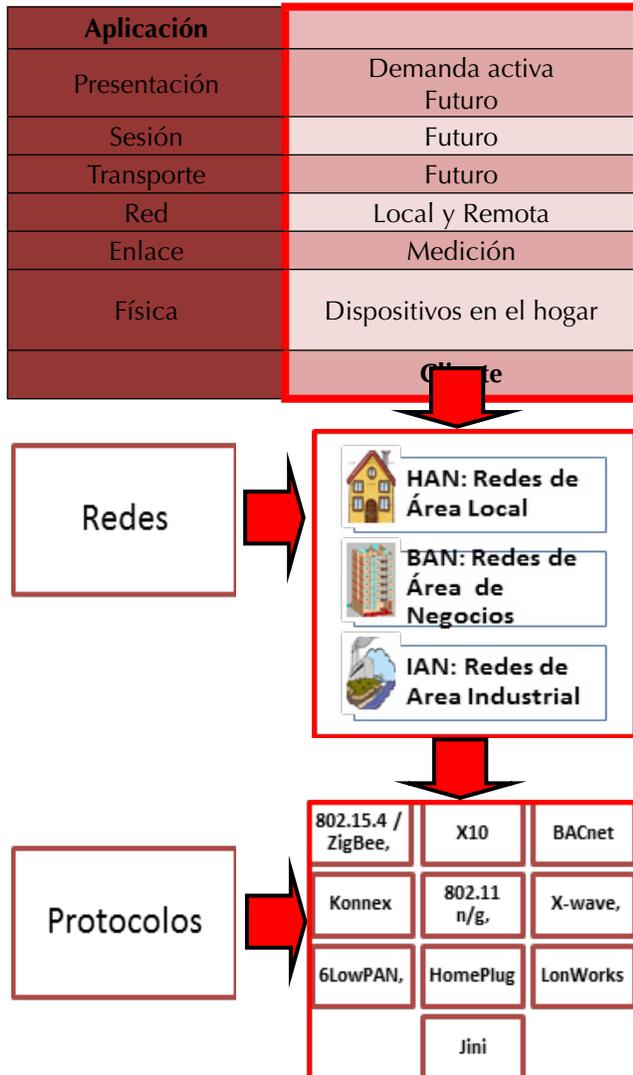


Figura 2. Modelo OSI unido a los protocolos de domótica.

2.3. Software para monitoreo, supervisión y control de variables eléctricas

La implementación de elementos de hardware (enchufe inteligente, sensores) conjuntamente con algoritmos de software simples para la

reducción del consumo en las horas pico, facilita el monitoreo, supervisión y control de variables eléctricas [20].

En 1982, la facultad de Ingeniería de la Universidad de la Florida desarrolló un algoritmo de optimización de gestión energética para reducir el costo de la electricidad mirando la estructura de precios y el tiempo de uso o demanda, simulando por medio de un computador las necesidades de energía eléctrica de una residencia típica para probar la eficacia de los algoritmos [21]. Para el año 2003, se propone una casa inteligente llamada Grenoble experimental Smart home, cuyo modelo se basa en un marco de infraestructura informática el cual tiene tres capas: la capa de aplicación que ofrece servicios de monitoreo, la capa de hardware que tiene dispositivos eléctricos y una capa intermedia que permite la unión entre las dos anteriores [22].

Luego, en 2013, se desarrolló iCHEMS el cual es un sistema de gestión que se basa en la predicción de la capacidad de energía renovable, emplea la tecnología Zigbee con el estándar IEEE802.15.4, cuenta con un iCMS (servidor de gestión inteligente en la nube), un iPMD (monitoreo inteligente de potencia de los dispositivos), y iEMD (monitoreo Inteligente ambiental de dispositivos) [23]. En ese mismo año también se presenta un Sistema de Gestión Energética basado en el algoritmo Rete. El sistema propuesto tiene conectores inteligentes y sensores que se conectan a una red LAN para comunicarse. Los electrodomésticos se encuentran enchufados en los conectores inteligentes. La información de los aparatos eléctricos y sensores procesan algoritmos basados en las reglas IF-THEN [24].

El sistema de gestión eléctrica inteligente (iEMS) [25], fue propuesto en el año 2014 y se compone de dos partes: un subsistema difuso y tabla de búsqueda inteligente, que se basa en reglas y entradas difusas que producen una salida a la tabla

de búsqueda inteligente alimentada de insumos como sensores externos, variables externas (precio, almacenamiento de la batería, condiciones ambientales), y el comportamiento y preferencias de los usuarios. La segunda parte corresponde a un nuevo modelo de red neuronal asociativa capaz de asignar entradas a las salidas deseadas. Lo que se pretende es buscar escenarios en diferentes condiciones para encontrar la mejor eficiencia energética y demanda responsable por parte de los usuarios, coincidiendo con sus preferencias y comportamientos. De igual manera Li et al, presentan un experimento computacional que incluye un simulador de consumo de energía residenciales, mecanismos de respuesta a través de la optimización, un método heurístico y una plataforma de computación con técnicas de regresión y algoritmos de optimización para observar la respuesta a la demanda [26].

2.4. Elementos transversales al modelo

La influencia de variables externas, como por ejemplo las económicas, sociales, políticas, ambientales, regulatorios, entre otras, afectan el comportamiento y hábitos de consumo energético domiciliario [27], las cuales a su vez se encuentran influenciadas por elementos como el precio, *comfort* del usuario, conciencia de los problemas ambientales y la confianza en las empresas de servicios [28].

Los cambios en el comportamiento del consumidor utilizando adecuadamente sistemas de gestión energética pueden conducir al ahorro de energía, uso energético más eficaz y tomar decisiones que maximicen la generación de energía con fuentes renovables [29]. Dependiendo de la manera como sean empleados los sistemas de gestión eléctrica domiciliaria, las variables externas tienen impacto directo, siendo necesario tenerlas en cuenta para estimaciones más precisas en los modelos [30].

3. APROXIMACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA-GEDE

3.1. Arquitectura del modelo

En la figura 3 se presenta el diagrama esquemático de GEDE, el cual cuenta con tres módulos: infraestructura, comunicaciones y software para monitoreo, supervisión y control de variables eléctricas, los cuales son explicados a continuación:

Módulo infraestructura: en este módulo se encuentran los dispositivos físicos para comunicación, medición, supervisión y control que harán parte de la instalación eléctrica gestionable.

Módulo de comunicaciones: este módulo está conformado por los diferentes protocolos estándar que se implementan para la comunicación entre todos los dispositivos y/o cargas eléctricas domiciliarias.

Módulo de software: donde están los algoritmos de gestión para monitoreo, supervisión y control de las variables eléctricas, de acuerdo con las cargas utilizadas por los usuarios y las diferentes fuentes de alimentación de energía, es la herramienta fundamental para la toma de decisiones.

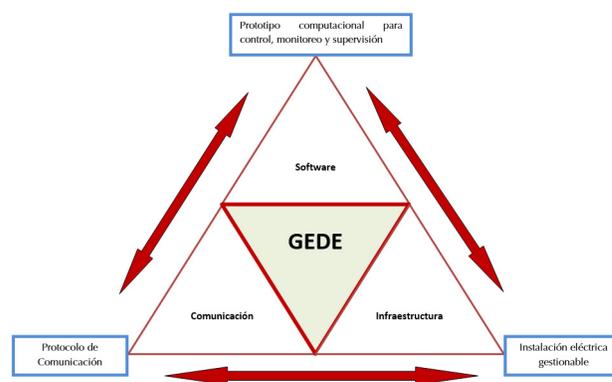


Figura 3. Diagrama esquemático del modelo de gestión de energía eléctrica domiciliaria-GEDE.

3.2. Diagrama esquemático del modelo

La figura 4 muestra el diagrama de bloques del funcionamiento del modelo de gestión de energía eléctrica domiciliaria GEDE. En este diagrama se relacionan los elementos de infraestructura y las comunicaciones. Se visualiza la llegada de energía de dos maneras: desde el sistema interconectado de energía (Y1) o por medio de generación distribuida instalada en la vivienda (Y2), se tiene previsto que estos recursos energéticos se almacenen o consuman de acuerdo a la toma de decisiones energéticas del usuario [31].

Otros elementos del diagrama de la figura 4 son los siguientes:

- Cargas o dispositivos (C): elementos que requieren energía y están conectados a la instalación eléctrica y para ser gestionados por el usuario activo.
- Sensores (S): detectan variables eléctricas que se convierten en datos básicos como voltaje y corriente del sistema mediante los dispositivos (X).

- Interruptor de potencia (I): realiza la conexión o desconexión de la carga para efectos de protección de acuerdo con la programación del sistema de monitoreo, supervisión y control, mediante algoritmos de software.

Aspectos de infraestructura

El modelo de gestión propuesto incorpora los dispositivos eléctricos básicos a nivel de fuentes y carga para las pruebas del sistema, los cuales se monitorean, supervisan y controlan, con el módulo autónomo de GEDE.

Cada uno de los módulos autónomos IP (Protocolo de Internet) de GEDE consta de cinco componentes fundamentales (figura 5): sistema de medida, sistema autónomo de procesamiento, sistema de control y protección, sistema de comunicaciones TCP/IP (protocolo de control de transmisión) y modem PLC (Power Line Communication, por sus siglas en inglés), que permitirá utilizar la infraestructura de la instalación eléctrica para las comunicaciones entre los dispositivos que la conforman y el sistema de gestión energética.

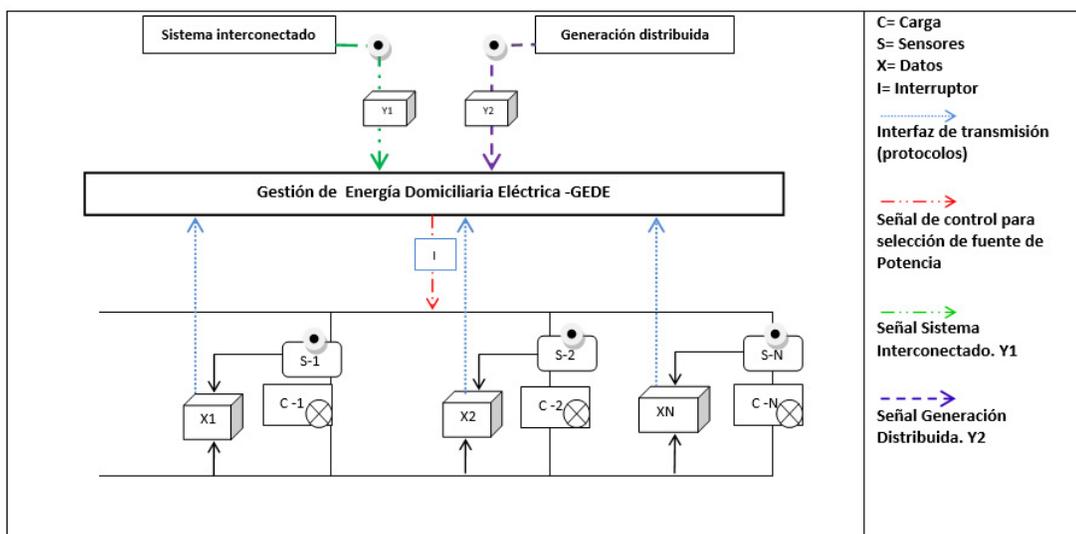


Figura 4. Diagrama de bloques del funcionamiento del modelo GEDE.

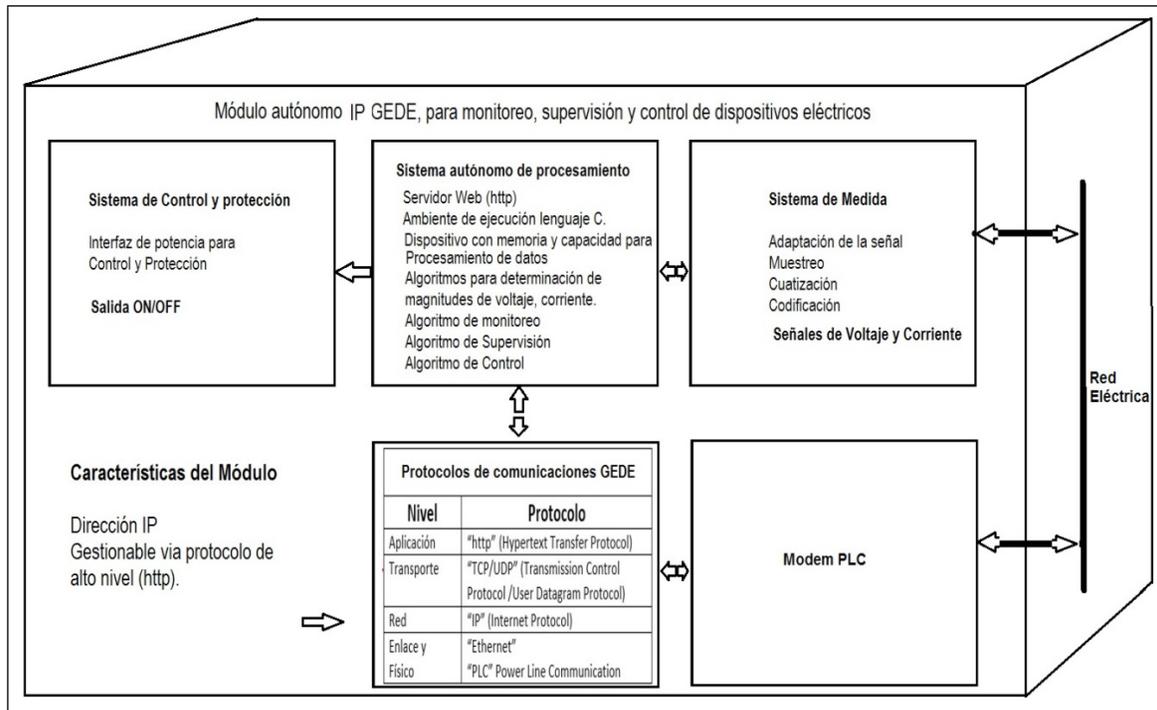


Figura 5. Diagrama de componentes del módulo autónomo IP de GEDE.

El sistema es escalable, lo que hace posible adicionar módulos de acuerdo con la cantidad de elementos que se quieran gestionar. La información obtenida por cada uno de los módulos es transmitida por la línea de potencia utilizando protocolo PLC, al módulo principal GEDE, que se encarga de implementar los algoritmos de gestión para mejorar la eficiencia energética. El módulo principal de GEDE monitorea, supervisa y controla tanto la carga como las fuentes, haciendo posible de esta forma que se implementen los algoritmos de gestión necesarios de acuerdo con los parámetros de operación establecidos en el sistema.

La información que se obtiene por parte de cada uno de los módulos tiene como base las medidas de voltaje y corriente a través de cada carga, o que es suministrada por las fuentes, de tal forma que en todo momento y en tiempo real se conozca el estado de la potencia entregada por la red y la Generación Distribuida (GD) y potencia consumida por

las cargas, así como determinar para cualquier periodo de tiempo la energía tanto consumida como entregada por las fuentes. El sistema con la infraestructura mostrada permite hacer un mejor uso de las fuentes de GD, por ejemplo, para incorporarlas en horas pico y desconectar parte de la carga o toda del sistema interconectado, dependiendo del escenario de eficiencia energética que se quiera gestionar.

Aspectos de comunicación

El modelo de interacción entre el sistema de comunicaciones y la infraestructura, que se muestra en la figura 6, utiliza la línea de potencia como base para las comunicaciones, eliminando el uso de cableados o sistemas alternos para el transporte de datos. Por otra parte, se ha seleccionado como protocolo principal de comunicaciones PLC, ya que no requiere sistema de alimentación adicional, implementar redes inalámbricas o alámbricas

paralelas y de esta manera se utiliza de forma más eficiente la instalación eléctrica. Sin embargo, no se descarta como alternativa de respaldo utilizar protocolos WiFi, Bluetooth, Zigbee, X10 o los referenciados en la figura 2, lo cual se establecerá en etapas posteriores del estudio, dependiendo de los resultados que se obtengan con la presente propuesta.

Las señales de voltaje y corriente son muestreadas, cuantificadas y codificadas para ser procesadas por el sistema autónomo de procesamiento GEDE, que permite mediante los algoritmos de procesamiento establecer los valores eficaces de voltaje y corriente, los cuales son transmitidos a través de protocolos de comunicaciones ajustados al modelo OSI (HTTP, TCP/IP, ETHERNET) al módulo principal de GEDE. Toda la comunicación en este escenario queda soportada a nivel físico sobre protocolo PLC, utilizando la misma línea de potencia que alimenta los dispositivos.

En la actualidad existen dispositivos que facilitan la comunicación con el protocolo PLC al interior de las viviendas, permitiendo comunicaciones de alto ancho de banda para acceso a internet y televisión [32]. Por otra parte, se están efectuando

investigaciones para reducir el BER (Bit Error Rate Performance, por sus siglas en inglés), evaluando el desempeño del PLC por medio de funciones de probabilidad observando el comportamiento de la tasa de error de la señal binaria modulada por los canales de transmisión [33], lo cual hace prever que esta tecnología adquiera mayor confiabilidad en sistemas domiciliarios.

Las comunicaciones son controladas por el software que implementan cada uno de los módulos autónomos IP, que incorporan un servidor web de http, que conforma una infraestructura de comunicaciones entre servidores (cada dispositivo autónomo incorpora un servidor IP).

Aspectos de software

El software del sistema tiene dos componentes principales: 1) El software del sistema autónomo IP de GEDE, que implementa un servidor web, los algoritmos de medida, supervisión y control para el elemento que está gestionando, junto con el sistema de comunicaciones con el sistema principal GEDE y, 2) El sistema de gestión principal del GEDE, mostrado en la figura 7, por medio de un diagrama de clases, integra la información de cada

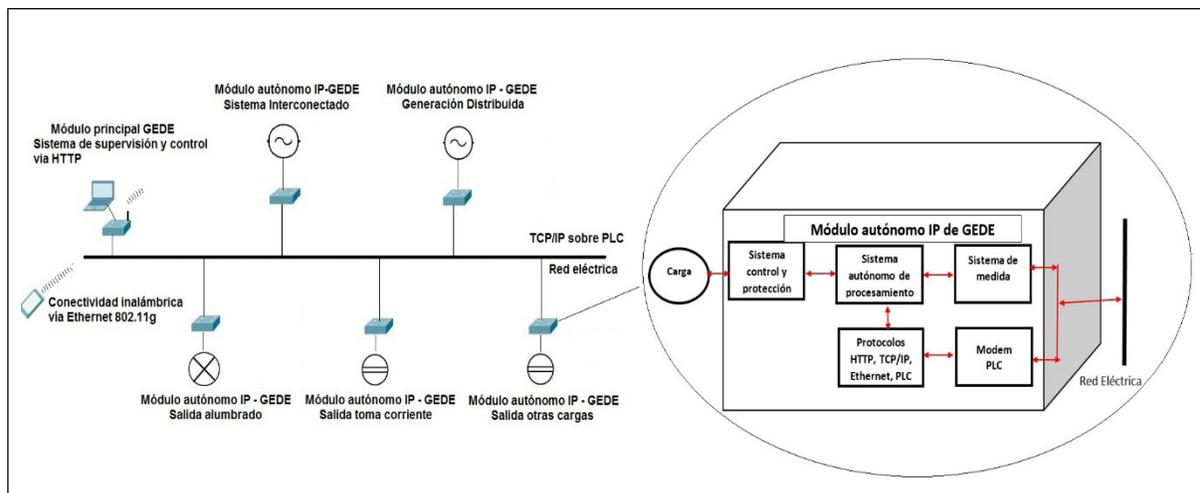


Figura 6. Diagrama despliegue con protocolos de comunicaciones para GEDE.

uno de los sistemas autónomos, donde se procesan las señales de voltaje y corriente suministradas a través de la red de comunicaciones de la instalación eléctrica, tanto por las fuentes de alimentación, como por las cargas eléctricas, con el fin de establecer por medio de algoritmos la mejor condición de operación del sistema. El software del sistema principal de gestión será implementado con lenguajes de alto nivel orientados a objetos y además contempla el desarrollo de un objeto con la información en tiempo real del estado de cada sistema autónomo.

Para la gestión del sistema se pretende implementar un software en aplicación web, que opere en equipos y en dispositivos móviles, el cual haga posible la adquisición y almacenamiento de datos básicos como voltaje y corriente para determinar potencia y energía, con el fin de establecer la eficiencia del sistema.

4. CONCLUSIONES

Este modelo de gestión energética planteado permite aprovechar la integración de avances tecnológicos en un mismo entorno utilizando infraestructura, software y comunicaciones, con el fin de hacer un mejor uso de la energía en la residencia y así mismo explorar nuevas oportunidades que propongan mejoras en varios aspectos regulatorios del sector, con programas para utilizar generación distribuida desde las viviendas a partir de fuentes renovables.

Se propone un nuevo tipo de instalación domiciliaria que permita conmutar circuitos eléctricos de manera automática para buscar la mejor configuración del sistema con el fin de alimentar las cargas, integrando fuentes renovables para contribuir con la eficiencia energética y aprovechando el sistema tarifario de energía de acuerdo con el marco regulatorio de cada región.

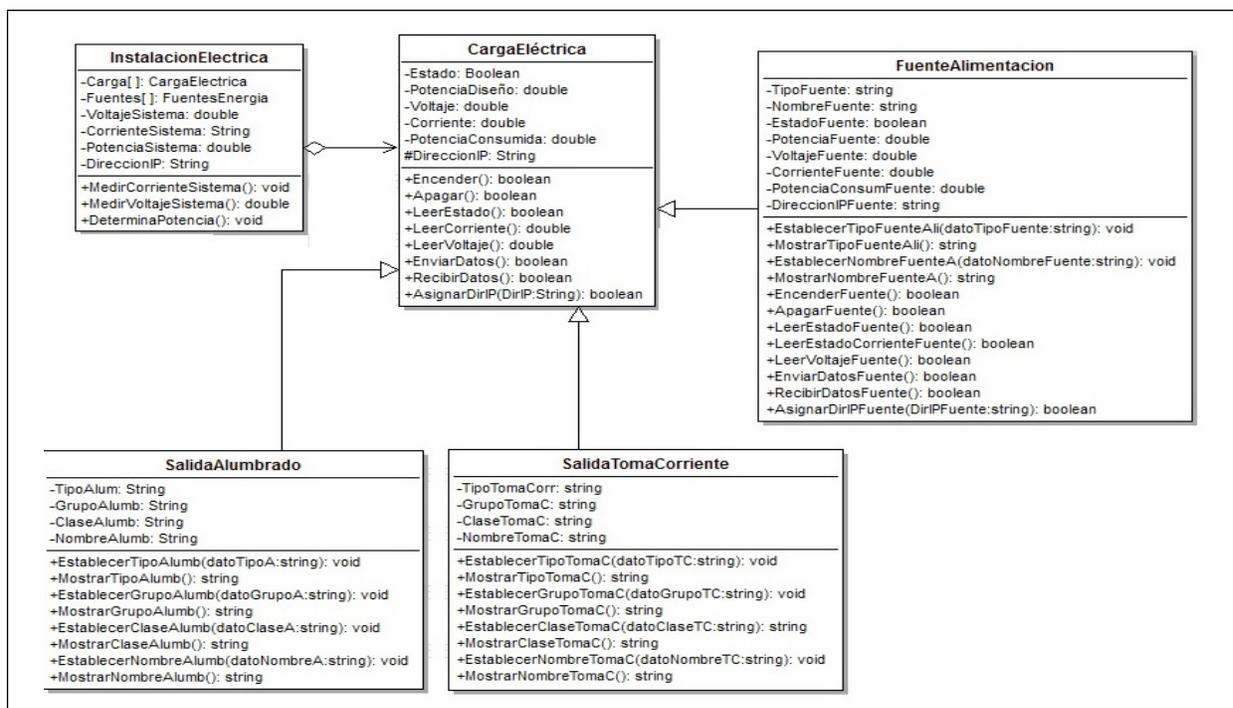


Figura 7. Diagrama de clases para el sistema principal de GEDE.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dar sus agradecimientos al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (CIDC) y al grupo de investigación GCEM, por haber hecho posible este estudio.

6. REFERENCIAS

- [1] H. Chen, T. Ngoc Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li and Y. Ding, "Progress in electrical energy storage system: A critical review". *Progress in Natural Science*, pp. 291-312, 2009.
- [2] H. Jinsoo, C. Chang Sig and L. Lllwoo Lee, "More efficient home energy management system based on ZigBee communication and infrared remote controls". *Consumer Electronics IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 85-89, 2011.
- [3] S. Amin and B. Wollenberg, "Toward a smart grid: power delivery for the 21st century". *Power and energy Magazine, IEEE*, vol. 3, pp. 34-41, 2005.
- [4] A. Vega, F. Santamaría y E. Rivas, "Propuesta para elaborar un Modelo de Gestión para redes eléctricas domiciliarias: Aproximación conceptual". *Sixth International Symposium on Energy & Technology Innovation Forum*, Gurabo–Puerto Rico, 2014.
- [5] D. Villa, C. Martin, F. Villanueva, F. Moya and J. López, "A dynamically reconfigurable architecture for smart grids". *Consumer Electronics IEEE Transactions on*, vol. 57, pp. 411-419, 2011.
- [6] A. Vega, F. Santamaría and E. Rivas, "Modeling for home electric energy management: a review". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, [en revisión], 2015.
- [7] A. Snyder, E. Gunther and S. Griffin, "The smart grid homeowner: An IT guru?". *Future of Instrumentation International Workshop (FIIW)*, pp. 1-4, 2012.
- [8] M. Coral and F. De la Rosa, "Simulation Platform for Domotic Systems". *Communications and Computing (COLCOM)*, 2014 IEEE Colombian Conference, Bogotá, D.C., 2014.
- [9] B. JinSung, J. Boungiu, N. Junyoung, K. Youngil and P. Sehyun, "An intelligent self-adjusting sensor for smart home services based on ZigBee communications". *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 794-802, 2012.
- [10] L. Ching-Hu, W. Chao-Lin and F. Li-Chen, "Reciprocal and Extensible Architecture for Multiple-Target Tracking in a Smart Home". *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 120-129, 2011.
- [11] Y.-X. Lai, C.-F. Lai, Y.-M. Huang and H.-C. Chao, "Multi-appliance recognition system with hybrid SVM/GMM classifier in ubiquitous smart home". *Information Sciences*, vol. 230, no. 230, pp. 39-55, 22 of octubre, 2012.
- [12] M. C. Bozchalui, S. A. Hashmi, H. Hassen, C. Canizares and K. Bhattacharya, "Optimal Operation of Residential Energy Hubs in Smart Grids". *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 3, 2012.
- [13] B. Powers and B. Margossian, "Using a rule-based algorithm to disaggregate end-use load profiles from premise-level data". In *Transactions of the IEEE Computer Applications in Power*, 1991.
- [14] G. Hart, "Nonintrusive appliance load monitoring". *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 12, pp. 1870-1891, 1992.
- [15] L. Farinaccio and R. Zmeureanu, "Using a pattern recognition approach to disaggregate the total electricity consumption in a house into the major end-uses. In *Energy and Buildings*". *Energy and Buildings*, vol. 30, no. 3, pp. 245-259, 1999.
- [16] L. Marceau and R. Zmeureanu, "Nonintrusive load disaggregation computer program to estimate the energy consumption of major end uses in residential buildings". *Energy Conversion and Management*, vol. 41, pp. 1389-1403, 2000.
- [17] Z. Younghun, K. Schmid and M. Srivastava, "Viridiscop: design and implementation of a fine grained power monitoring system for homes". *UbiComp*, pp. 245-254, 2009.
- [18] The Cambridge, *The Cambridge Dictionary of Statistics*, 2012.

- [19] G. Tolosa, "Protocolos y Modelo OSI", marzo 2014, [en línea]. Consultado el 15 de noviembre de 2014, disponible en: <http://www.tyr.unlu.edu.ar/TYR-publica/02-Protocolos-y-OSI.pdf>
- [20] H. Morsali, S. M. Shekarabi, K. Ardekani, H. Khayami, A. Fereidunian, M. Ghassemian and H. Lesani, "Smart plugs for building energy management systems". Smart Grids (ICSG), 2nd Iranian, Iranian, 2012.
- [21] B. Capehart, E. Muth and M. Storin, "Minimizing residential electrical energy costs using microcomputer energy management systems". Computers & Industrial Engineering, vol. 6, no. 4, pp. 261-269, 1982.
- [22] H. Pigot, B. Lefebvre, J. Meunier, B. Kerherve, A. Mayers y S. Giroux, "The role of intelligent habitats in upholding elders in residence". 5th international conference on Simulations in Biomedicine, Slovenia., Slovenia, 2003.
- [23] J. Byun, I. Hong and S. Park, "Intelligent cloud home energy management system using household appliance priority based scheduling based on prediction of renewable energy capability". Consumer Electronics, IEEE Transactions on, vol. 58, pp. 1194-1201, 2012.
- [24] T. Kawakami, T. Yoshihisa, N. Fujita and M. Tsukamoto, "A Rule-Based Home Energy Management System Using the Rete Algorithm". 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), Japón, 2013.
- [25] D. Shahgoshtasbi and M. Jamshidi, "A New Intelligent Neuro-Fuzzy Paradigm for Energy-Efficient Homes". IEEE Systems Journal, 2014.
- [26] S. Li, D. Zhang, A. Roget and Z. O'Neill, "Integrating Home Energy Simulation and Dynamic Electricity Price for Demand Response Study". IEEE Transactions On Smart Grid, vol. 5, no. 2, pp. 779-788, 2014.
- [27] M. Zaeri, N. Sharda and A. Zahedi, "A Five Layer Model for Simulating a Virtual Power Plant". IEEE Innovative Smart Grid Technologies, Kuala Lumpur, 2014.
- [28] A. Sachdeva and P. Wallis, Our demand: reducing electricity use in victoria throughdemans management, Melbourne, Monash Sustainability Institute, 2010.
- [29] B. Dahlbom, H. Greer, C. Egmond and R. Jonkers, Changing Energy Behaviour. Madrid, Intelligent energy europe, 2009.
- [30] L. Hernandez, C. Baladron, J. Aguiar, B. Carro, A. Sanchez, J. Lloret and J. Massana, "A Survey on Electric Power Demand Forecasting: Future Trends in Smart Grids, Microgrids and Smart Buildings". Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 16, no. 3, pp. 1460-1495, 2014.
- [32] Tp-link, "TP-Link Technologies CO". marzo 2015, [en línea]. Consultado el 19 de marzo de 2015, disponible en: <http://www.tp-link.com/co/products/?-categoryid=206>
- [33] Y. Kim, Y.-H. Kim, H.-M. Oh and S. Choi, "BER Performance of Binary Transmitted Signal for Power Line Communication under Nakagami-like Background Noise". The First International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-aware Technologies, Venice, 2011.



Bitcoin como alternativa transversal de intercambio monetario en la economía digital

Bitcoin Transversal Alternative Monetary Exchange in the Digital Economy

Zully Julieth Palacios Cárdenas¹ Miguel Andrés Vela Avellaneda²
Giovanny Mauricio Tarazona Bermúdez³

Para citar este artículo: Palacios, Z.J., Vela, M.A. y Tarazona, G.M. (2015). Bitcoin como alternativa transversal de intercambio monetario en la economía digital. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 106-128.

Recibido: 15-mayo-2015 / **Aprobado:** 15-junio-2015

Resumen

Bitcoin es un sistema de dinero digital descentralizado que está amenazando el uso del dinero convencional. Este sistema ha aumentado su popularidad atrayendo la atención de los medios, la comunidad y los organismos de control, dado su anonimato y estructura, donde los usuarios son quienes generan la moneda y verifican que las transacciones sean efectuadas por medio de un proceso criptográfico. El artículo evidencia el estado de arte de las diferentes formas de dinero que ha utilizado el ser humano, desde la aparición del trueque a partir del 9000 a.C, hasta llegar al Bitcoin como forma de dinero digital en la última década. Para el desarrollo de la investigación se hizo una búsqueda con las palabras: dinero (money), historia del dinero (history of money) y Bitcoin, principalmente en las bases de datos de las revistas: IEEE, ScienceDirect, Jstor-Journal Storage y Business Source Complete, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y de la Universidad Nacional de Colombia (SINAB), donde se encontraron 355 documentos pero se seleccionaron 162 que favorecieron la revisión.

Finalmente se concluye que el Bitcoin es considerado como una moneda experimental por lo tanto carece de reconocimiento dentro de la economía global, pero a futuro puede ser una alternativa a los costosos sistemas tradicionales, logrando aumentar el acceso de los negocios en la red.

Palabras clave: Bitcoin, criptomoneda, dinero digital, dinero, historia del dinero, minería Bitcoin.

Abstract

Bitcoin is a decentralized system of digital money that is threatening the use of conventional money. This system has increased in popularity attracting media attention, community and control bodies, given their anonymity and structure where users are who generate the currency and verify that transactions are carried out by means of a cryptographic process. The article demonstrates the state of art of different forms of money used humans, since the emergence of barter from 9000 BC until the Bitcoin as a form of digital money in the last decade. For the development of research, it was searched

1. Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: zully_2792@hotmail.com
2. Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: mava305.a@gmail.com
3. Ingeniero Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; doctor en Sistemas Informáticos para Internet, Universidad de Oviedo, Asturias, España; docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Contacto: gtarazona@gmail.com

with the words: money (money), history of money (history of money) and Bitcoin, mainly in databases of journals: IEEE, ScienceDirect, JSTOR-Journal and Storage Business Source Complete the District University Francisco Jose de Caldas and the National University of Colombia (SINAB) where 355 documents were found but 162 of them were selected because favored the review. Finally we conclude that Bitcoin is considered an experimental currency therefore lacks recognition within the global economy, but the future can be an alternative to expensive traditional systems, achieving increasing access network business

Keywords: Bitcoin, criptocurrency, digital money, history of money, minning Bitcoin, money.

su ordenador o teléfono inteligente en cualquier parte del mundo a través de la red de forma segura. Bitcoin permite intercambiar dinero sin ningún intermediario, facilitando la transparencia de las transacciones con la ayuda de la criptografía de las firmas digitales, la cual da la posibilidad de validar y almacenar todas las transacciones públicamente. Los costos generados por la utilización de dinero en efectivo han sido altos (transporte, seguridad, impresión), e incluso los riesgos al transportarlo. Los anteriores factores han influido para que se desarrollen nuevos sistemas que faciliten las transacciones y se reduzcan los costos [3].

Bitcoin va más allá del alcance de dinero en efectivo, permitiendo transacciones globales procesadas en la misma velocidad que las locales. Al mismo tiempo, se debe considerar que es la única moneda en el mundo cuyo valor está regulado ciento por ciento por la ley de oferta y demanda. Pero existe un inconveniente para que este sistema de intercambio comercial tenga éxito, y es el de garantizar plena confianza, lo que implica reconocimiento por parte de gobiernos e instituciones financieras a nivel mundial. Es así como el estudio se centra puntualmente en analizar Bitcoin como alternativa transversal de intercambio en los mercados mundiales.

En primer lugar se aborda el concepto de dinero y se hace una revisión de los diferentes elementos que el ser humano ha utilizado como forma de intercambio, comenzando con el uso de materiales naturales hasta llegar a la aparición del dinero electrónico en la Sección 2. Posteriormente, en la Sección 3, se presenta al Bitcoin como una alternativa de dinero electrónico junto con sus generalidades y sus riesgos. Seguidamente, en la Sección 4, se muestra el proceso de transacción con Bitcoin. Más adelante en la Sección 5, se explica cada una de las partes que interactúan en el protocolo Bitcoin. En la Sección 6, se exponen una serie de eventos relacionados a ataques, robos y la

1. INTRODUCCIÓN

Internet World Stats afirma que para finales del año 2000 el número de usuarios de internet en el mundo era de 361 millones mientras que para junio de 2014 esta cifra había alcanzado los 3.035 millones, es decir el 42,3 % de la población mundial [1]. Por tanto, el paso de la economía tradicional a la economía digital ha sido posible con la revolución de internet, y como consecuencia los modelos de negocio han evolucionado por el desarrollo de nuevas tecnologías, nuevas formas de intercambio, o bien, el uso de nuevas unidades de cambio o monedas digitales. Es usual que la emisión de dinero sea responsabilidad de los bancos centrales y podría ser inconcebible desafiar esta premisa.

En el año 2008 surge la moneda digital descentralizada Bitcoin [2], creada probablemente por un seudónimo y utilizada para apoyar el comercio electrónico, permitiendo a los usuarios con acceso al internet realizar transacciones mediante

volatilidad que ha experimentado el Bitcoin desde sus inicios, para continuar con la Sección 7, donde se razonan una serie de ventajas y desventajas tanto desde el punto de vista económico-financiero como el funcional. Finalmente, en la Sección 8 se evidencia el reconocimiento y aceptación por parte de organismos internacionales hacia el Bitcoin, para terminar con las conclusiones y futuros temas de estudio en la Sección 9.

1. LA EVOLUCIÓN DEL DINERO EN LA HISTORIA

Como lo mencionan Cuervo, Reina, Zuluaga, Rozo, Santana y Echeagaray, el dinero es definido como un medio u objeto de intercambio socialmente aceptado, una representación abstracta de un valor respaldada por una autoridad y generalmente admitida para la realización de intercambios comerciales universales. Sin embargo, el dinero también es considerado no solo como un asunto económico, sino que también está profundamente relacionado a aspectos sociales, psicológicos y hasta políticos [4]-[6]. Dentro de este mismo contexto, Surowiecki, Bustamante, Escoto, *et al.*, lo definen por las tres funciones que desempeña en una economía: como medio de cambio, unidad de cuenta y reserva de valor, todas ellas relacionadas con la compra y venta. Las mismas conllevan a que el dinero nunca sea suficiente, y que la sociedad haga de su obtención su única meta en la vida [7], [8].

Históricamente una gran variedad de materias primas han servido en un momento u otro como dinero [9]. Por ejemplo, los nativos de ciertas regiones de la India utilizaban almendras, los guatemaltecos el maíz, los antiguos asirios y babilonios la cebada, los pueblos de Filipinas, Japón, Birmania y otras regiones del sudeste asiático tradicionalmente usaron el arroz como dinero [10]. Animales vivos, tabaco, cacao [11], pieles, aceite de oliva, licores, conchas marinas, piedras, dientes e incluso esclavos

y esposas, también sirvieron como medio de pago por los distintos bienes recibidos a cambio [12], [13]. Así, a partir de 9000 a.C se utilizó la ganadería y los productos agrícolas para facilitar el comercio, y se le nombró a esta actividad: el trueque. En este intercambio no existía un precio y no era posible distinguir entre comprador y vendedor [14].

Posteriormente en el siglo VII a.C, al descubrirse el metal y dificultarse el comercio del trueque, el Reino de Lidia en Asia menor emitió las primeras monedas hechas por conglomerados de electrón (aleación natural de oro y plata sacados de ríos de la zona) cortados en pequeños trozos. Tenían un peso determinado y eran selladas con una marca oficial para garantizar el valor, atribuyéndole a este reino la innovación de imprimir en las caras de la moneda. Las monedas se fabricaron con un peso y tamaño estándar para reducir el riesgo de engaños con la cantidad o calidad de oro y plata que utilizaban para realizar los intercambios [15]. Godazgar y Haddadi [16], se centran en la historia del oro y la plata como formas de dinero.

Años después estas monedas se perfeccionaron por los griegos, quienes hicieron de su invención una época que se denominó la Edad de Oro de Grecia (500 a 400 a.C); animales, objetos naturales y dioses griegos eran usados como símbolos en monedas griegas [17]. Después de la caída del Imperio Romano en el año 476 d.C, Europa se desestabilizó, por lo que había pocos gobiernos fuertes que podrían emitir dinero de una manera fiable. Como resultado, el dinero se vio difícil de conseguir y el comercio disminuyó [18]. Los anteriores hechos conllevan a que surgiera por primera vez en China el papel moneda en el año 650 d.C. con materiales manejables, económicos y variados diseños [19]. Inicialmente los europeos no adoptaron esta moneda, aunque era más fácil transportar papel que pesadas bolsas de monedas. Estos primeros "billetes" eran pedazos en forma cuadrada de piel de ciervo blanco con bordes de colores [20].

Más tarde, con el surgimiento del Renacimiento y la Revolución Industrial alrededor de 1300 d.C, los italianos crearon los bancos [18], [21]; y perfeccionaron el papel moneda, el cual se emitió para que lo utilizara diariamente el comercio. A mediados del siglo XV aparecen las letras de cambio, permitiendo el envío de dinero a distancia sin correr riesgos, así como los pagarés, las obligaciones o bonos, las acciones, los cheques y los giros postales [22]. Los billetes de papel se ataron al oro solo hasta 1816, y la Ley de Patrón Oro fue promulgada oficialmente en los Estados Unidos en 1900, lo que condujo al establecimiento de la Reserva Federal. De esta manera, el papel moneda estaba respaldado por metales preciosos, mediante un certificado que podía ser canjeado por su equivalente en metales preciosos en cualquier momento a quien lo recibiera en el intercambio [5].

Para el siglo XIX el mundo llegó a operar por primera vez bajo un único sistema monetario, basado en el valor de la divisa mundial: el oro [10]. Después de la Primera Guerra Mundial, el patrón oro se vio amenazado y la mayoría de países suspendieron la convertibilidad de su moneda en este metal. En los años treinta con la llegada de la Gran Depresión en todo el mundo [20], y más tarde la Segunda Guerra Mundial, se pone fin a la “regla de oro” así como al acuerdo de Bretton Woods: el patrón oro fue revisado y el precio del oro devaluado [23]. En 1971, EE.UU. canceló unilateralmente la convertibilidad directa del dólar estadounidense con el oro, que supuso el fin del acuerdo de Bretton Woods, así como el Gold Standard. El rápido desarrollo en todo el mundo desde esta fecha se considera como la prueba de la estabilidad del sistema financiero “dinero fiat” (sin el respaldo de oro) [16]. Este fue el primer paso para poner fin a la relación entre el oro y la moneda, lo cual marcó el comienzo de una compleja regulación monetaria internacional [20].

En el siglo XIX surgen los bancos centrales, definidos por el Banco de la República como aquellas

entidades establecidas en la capital de cada país encargadas de la emisión de moneda nacional bajo el resguardo del Banco Mundial y del Fondo Monetario Internacional [24]. Junguito y Ayala dan a conocer las etapas históricas del Banco Central a nivel mundial [25]. En resumen, la invención del papel moneda acabó con el feudalismo, e hizo descender la base del poder económico desde la propiedad de tierras, a la de mercados bursátiles, acciones, y corporaciones. De este modo, a mediados de los años noventa la relación deja de ser bilateral y se pasa al dinero plástico, en forma de tarjetas de pago. Según Rockwell y el Banco de la República, las tarjetas de pago han tenido como característica común el hecho de poseer uno o más hologramas y un bloque de firma (para la firma del titular de la tarjeta), así como una banda magnética, que permite la codificación de los datos del mismo [26], [27].

Existen tres tipos de tarjetas de pago, las cuales se diferencian por el tiempo entre pagos y la transacción. El primero es la tarjeta de crédito con la cual el portador puede disponer de una cuenta de créditos por parte de la entidad que la emite, para ser utilizada en los establecimientos afiliados. Con su sola presentación se puede posponer el cumplimiento de las obligaciones financieras asumidas (las cuales deben ser reembolsadas junto con los intereses) [10]. El segundo tipo es la de débito, la cual se emplea para realizar pagos en los establecimientos que la aceptan como medio de pago. La operación se registra en la cuenta y el valor de la compra se descuenta automáticamente de la cuenta bancaria el dinero que en realidad posee y puede disponer [28]. Y el tercero es la tarjeta prepagada o monedero electrónico, la cual permite hacer compras en cantidades reducidas: se compran por un valor específico y con éstas se realizan gastos hasta que el dinero acumulado se acabe.

En Estados Unidos surgen las primeras tarjetas emitidas en gasolineras, posteriormente se adoptan por

cadenas de almacenes y finalmente, Diner's Club crea en 1950 la primera tarjeta de crédito hecha de cartón, con el nombre del cliente en una cara y un listado de los restaurantes miembros al reverso. Para 1955, Diner's Club ya contaba con una tarjeta hecha de plástico [29]. Al existir un nuevo producto financiero que amenazaba con quitarles el control crediticio de montos relativamente bajos a los bancos, estos decidieron crear sus propias tarjetas de crédito plastificadas. En 1958 el primero en crear una tarjeta de este tipo es el banco estadounidense "Bank of America", denominada BankAmericard. En seguida, se unieron al sistema BankAmericard pequeños bancos para tener su propia tarjeta.

En 1967 el banco neoyorquino City Bank, introdujo al mercado su tarjeta de crédito llamada Everything Card, conocida mundialmente como "MasterCard" Posteriormente en 1977, la denominada BankAmericard cambió su nombre por "Visa", haciendo una difusión importante de sus tarjetas de crédito (logrando ser la más popular para 1990) [30]. Esta forma de concebir el dinero incentivó el consumo así como los servicios, la producción y el PNB, pero lo hizo al costo de un alto endeudamiento individual y de una inflación internacional [29].

Posteriormente, con la invención de la tarjeta inteligente (smart card o chip card), nace la concepción de dinero electrónico [31]. Las tarjetas inteligentes se diferencian de las demás tarjetas de pago porque poseen un microchip de computador en el cual almacenan una mayor cantidad de información que las tarjetas con bandas magnéticas, permitiendo hacer transferencias de fondos de una manera más eficiente, razón por la cual pueden tener más usos [32]. La acreditación de la primera tarjeta inteligente se da en el año de 1974, cuando Roland Moreno, un periodista francés, patentó la invención de una memoria electrónica montada en un anillo, la cual dio lugar a que en 1977 las empresas Bull y Motorola, crearan una tarjeta que tenía dos chips un microcontrolador y una memoria separada.

En 1980, la empresa Motorola introdujo la primera tarjeta inteligente con un solo microchip [33]. Así, con el desarrollo de la telemática [29] y la información de las transacciones interbancarias, el dinero logra viajar de manera instantánea por vía telefónica a una velocidad mayor, formando una red bancaria internacional de transferencias electrónicas donde es posible trasladar de país a país grandes cantidades de dinero electrónico en segundos. Dado que la seguridad social y el sistema federal de pensiones brindaron a sus clientes la posibilidad de depositar su dinero en cuentas bancarias, el sistema electrónico comenzó a popularizarse alrededor de 1971 junto con la invención del cajero automático [34].

Luego, en 1974 los comercios comenzaron a adquirir unos aparatos capaces de leer la banda magnética de las tarjetas de crédito y registraban el pago realizado a determinado negocio en la cuenta bancaria del propietario por medio de la red de telefonía, así las compras cotidianas entraron a formar parte de las transacciones electrónicas [10]. Para 1995 cerca del 90% de las transacciones en Estados Unidos eran hechas electrónicamente [34], mientras que para 1998, cerca del 84% de la población adulta del Reino Unido poseía algún tipo de tarjeta de pago de plástico [31].

Desde allí se empieza a crear el dinero electrónico, que es definido como el conjunto de medios de pago que requiere para su funcionamiento mecanismos electrónicos (tarjetas de crédito, débito, inteligentes, monederos electrónicos, títulos electrónicos como cheques y letras de cambio, cartas de crédito electrónicas, y otros pagos B2B). Estos pueden tener efectos sobre la oferta de dinero y manejo de la política monetaria por parte de las autoridades [10], [35]. El mismo es almacenado en un soporte electrónico, emitido al recibir fondos de un importe no inferior en valor que el valor monetario emitido y aceptado como medio de pago por empresas distintas del emisor [36]. Sin embargo,

para aumentar la confianza de los consumidores los pagos electrónicos deben considerar algunas condiciones [37], [38]. Como lo menciona Weatherford, hoy en día el dinero electrónico se está convirtiendo en una amenaza para muchos [18].

En los últimos años, con la llegada y penetración del internet se ha evidenciado el crecimiento de comunidades virtuales, las cuales en ocasiones han creado y distribuido su propia moneda virtual para el intercambio de bienes y servicios. Banesto fue la institución española pionera en lanzar al mercado la primera tarjeta virtual denominada Virtual Cash [10]. Son muchas las monedas virtuales que son utilizadas con mayor o menor éxito en la red: desde Pecunix [39], hasta Liberty Reserve y e-gold (las dos últimas fueron cerradas por el gobierno de Estados Unidos por sus operaciones ilegales en las transacciones), así como las asociadas al ocio como Linden Dollars de Second Life [40] o Facebook Credits [41] de Facebook [42].

De esta manera, la moneda virtual es un tipo de dinero digital no regulado que se caracteriza por actuar como medio de intercambio y como unidad de cuenta dentro de una comunidad virtual en particular, la cual es emitida y controlada por sus creadores. Puede tener aspectos positivos si contribuyen a la innovación financiera y ofrecer alternativas de pago adicionales a los consumidores, y de igual manera presentar riesgos para sus usuarios debido a la falta de regulación [43], [44]. Es así como a lo largo de la historia se han evidenciado diferentes formas de concebir el dinero para facilitar el comercio, comenzando por el trueque con el cual se utilizaron muchos tipos de bienes como medios generales de pago, hasta que finalmente se llega al dinero digital que es la forma de dinero más reciente. Entonces se puede deducir que la aparición del dinero virtual es un desarrollo de las formas de dinero anteriormente mencionadas como se puede observar en la figura 1 [43], [45]:

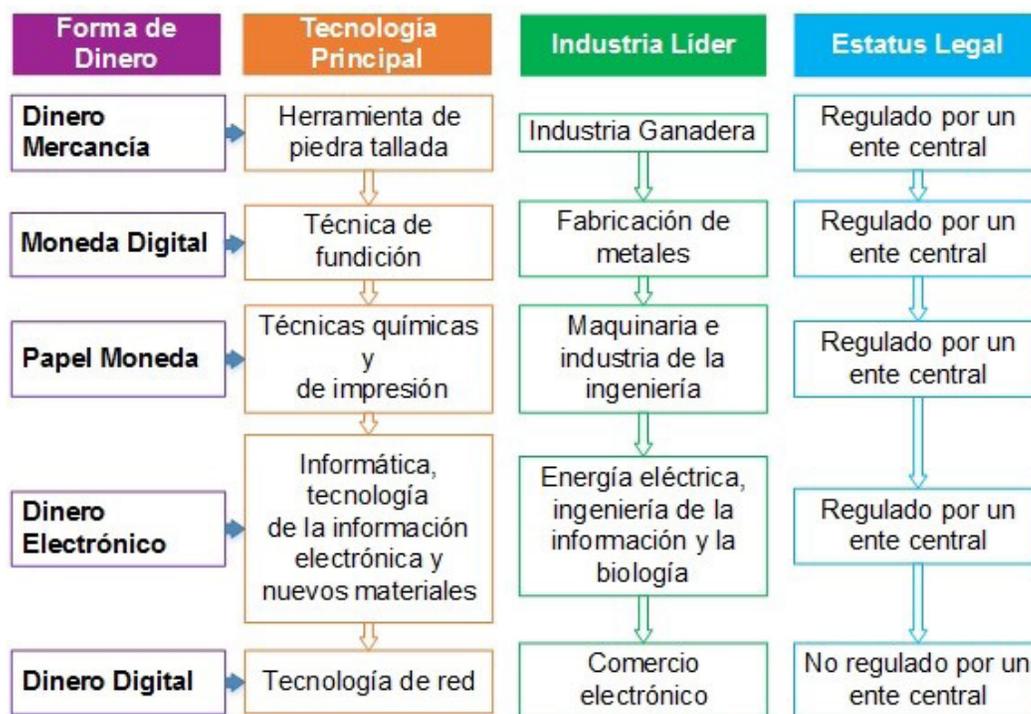


Figura 1. Desarrollo de las formas de dinero.

Yankee Group pone de manifiesto que el mercado de las divisas virtuales en el 2012 tenía un valor de USD\$ 47,5 mil millones y se proyecta que crezca un 14 % durante los próximos cinco años, llegando a USD\$ 55,4 billones en 2017 [46]. Como se observa en la figura 2, las monedas virtuales maduras comprenden el 95 %, captando la mayor parte del mercado, y se puede predecir que a medida que estas tendencias evolucionen las monedas digitales ganarán mayor aceptación frente a las monedas tradicionales.

2. BITCOIN

El Bitcoin es definido como una fuente abierta de dinero electrónico y pagos en la red que actúa como moneda alternativa, moneda digital o criptomoneda virtual. Esta moneda usa algoritmos criptográficos para garantizar las transacciones y es certificada por una red de usuarios en lugar de un banco central o sistema de reserva fraccionaria que controle su suministro, a diferencia del dólar, euro,

yen o cualquier otra moneda física tradicional. Asimismo, permite ejecutar transacciones totalmente públicas a través de un sistema peer to peer de pago y consultar cualquier movimiento realizado desde que inició hasta la actualidad [47]-[53].

Al tomar como referencia las tres funciones de la moneda tradicional dentro de la economía (medio de cambio, acumulación de valor, unidad de cuenta) y relacionarlas con el Bitcoin se evidencia que: como medio de cambio, funciona como una red de intercambio entre pares, asimismo satisface la coincidencia de necesidades recíprocas, aunque carece de liquidez porque no ha sido totalmente aceptada; como acumulación de valor, su gran volatilidad hace que sea difícil de predecir y por tanto puede resultar un instrumento arriesgado para almacenar valor y como unidad de cuenta, todavía está restringida a un pequeño grupo de empresas e individuos[54], [55]. En la Tabla 1 se evidencian las generalidades del Bitcoin.

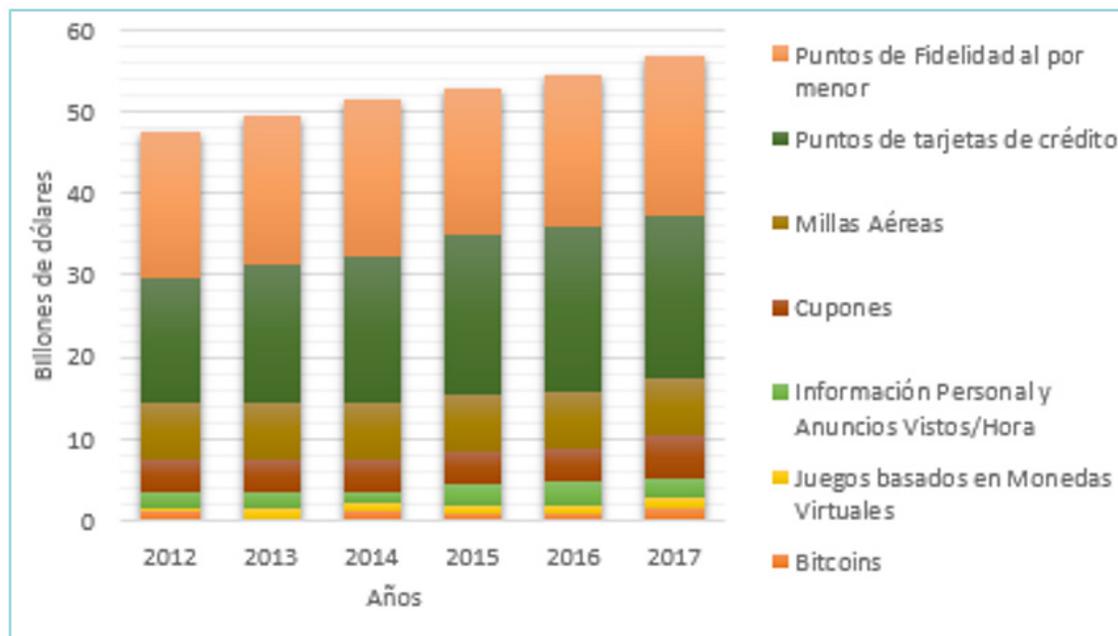


Figura 2. Cinco años de crecimiento del mercado de las monedas virtuales. **Fuente:** adaptado de Yankee Group [46].

Tabla 1. Generalidades del Bitcoin.

Parámetro	Descripción
Símbolo	Se usa informalmente BTC, otros usan XBT.
Denotación	Bitcoin: se refiere al sistema de pago. bitcoin : unidad de cuenta del sistema de pago.
Divisibilidad del bitcoin	Un bitcoin se subdivide en 100 millones de unidades más pequeñas llamadas satoshis, fraccionada hasta 8 decimales [56].
Cierre más alto del precio	Nov 25, 2013 USD\$ 1.119 [57].
Cierre más bajo del precio	Abril 23,2012 USD\$ 4,91 [57].
Startups* de Intercambio	Bitstamp [58] (sirve a la industria Bitcoin desde el 2011, primer plataforma en dólares), Btc-e [59], Bitfinex [60], Kraken [61] (primer plataforma en euros), LocalBitcoins [62] (entre individuos).
Startups que aceptan bitcoins	Bitpay [63](el proveedor más grande de servicios de pago, usado por Microsoft y Wordpress), Coinbase[64] (servicio todo en uno: billetera y pagos, usado por Dell y Expedia).
Sitios de información	Bitcoin.org [65] (sitio completo manejado por la comunidad), Bitcoin Wiki [66] (Wiki acerca de Bitcoin), BitcoinTalk [67] (Primer foro dedicado a Bitcoin), Blockchain.info [68] (Explorador de bloques Bitcoin).
Cajeros automáticos Bitcoin (ATM)	Los primeros lugares en tener ATM fueron Carolina del Sur [69], San Francisco, Tokyo, Singapore [70], London [71], Tucson y Canadá [72]. El primer ATM del mundo abrió sus puertas en Vancouver en octubre de 2013 y ofrece la conversión Bitcoin a dólares canadienses [73].

*Una compañía startup es un negocio con una historia de funcionamiento limitado. Generalmente son empresas asociadas a la innovación, al desarrollo de tecnologías, al diseño web o desarrollo web; son empresas de capital-riesgo.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO BITCOIN

Esta moneda se anunció por primera vez el 1 de noviembre de 2008 mediante el paper “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System” [74], cuyo autor es Satoshi Nakamoto (un programador pseudónimo probablemente) quien describió al Bitcoin como “un sistema para las transacciones electrónicas, sin depender de la confianza, a través del uso de la prueba criptográfica” [75]. El primer bloque creado (las primeras monedas que aparecieron en la red), denominado (bloque génesis) cuya recompensa por su solución fue de 50 bitcoins, empezó a funcionar el 3 de enero de 2009 [84], y el proyecto fue anunciado en la lista de correo Criptografía [163] el 11 de enero de 2009. Unos dieciocho

intercambios Bitcoin existen, ofreciendo servicios de cambio con muchas monedas en el mundo, (por ejemplo, EUR, USD, CAD, GBP, PLN, JPY, HKD, SEK, AUD, CHF, etcétera) [76].

Rice evidencia que el 6 de noviembre de 2013, el Wall Street Journal informó que la velocidad de la minería bitcoin era ahora 40 veces más rápida que en enero de 2013. Asimismo, que en los primeros cinco años se crearon 10,5 millones de bitcoins, para agosto del 2013 había en existencia 11,5 millones de bitcoins y se estima que el 90 % del límite de 21 millones de bitcoins se habrá producido en 2020, llegando así al límite de su oferta en el 2040 [77]. En la figura 3 se presenta el protocolo Bitcoin y el proceso de transar bitcoin [77]-[84]:

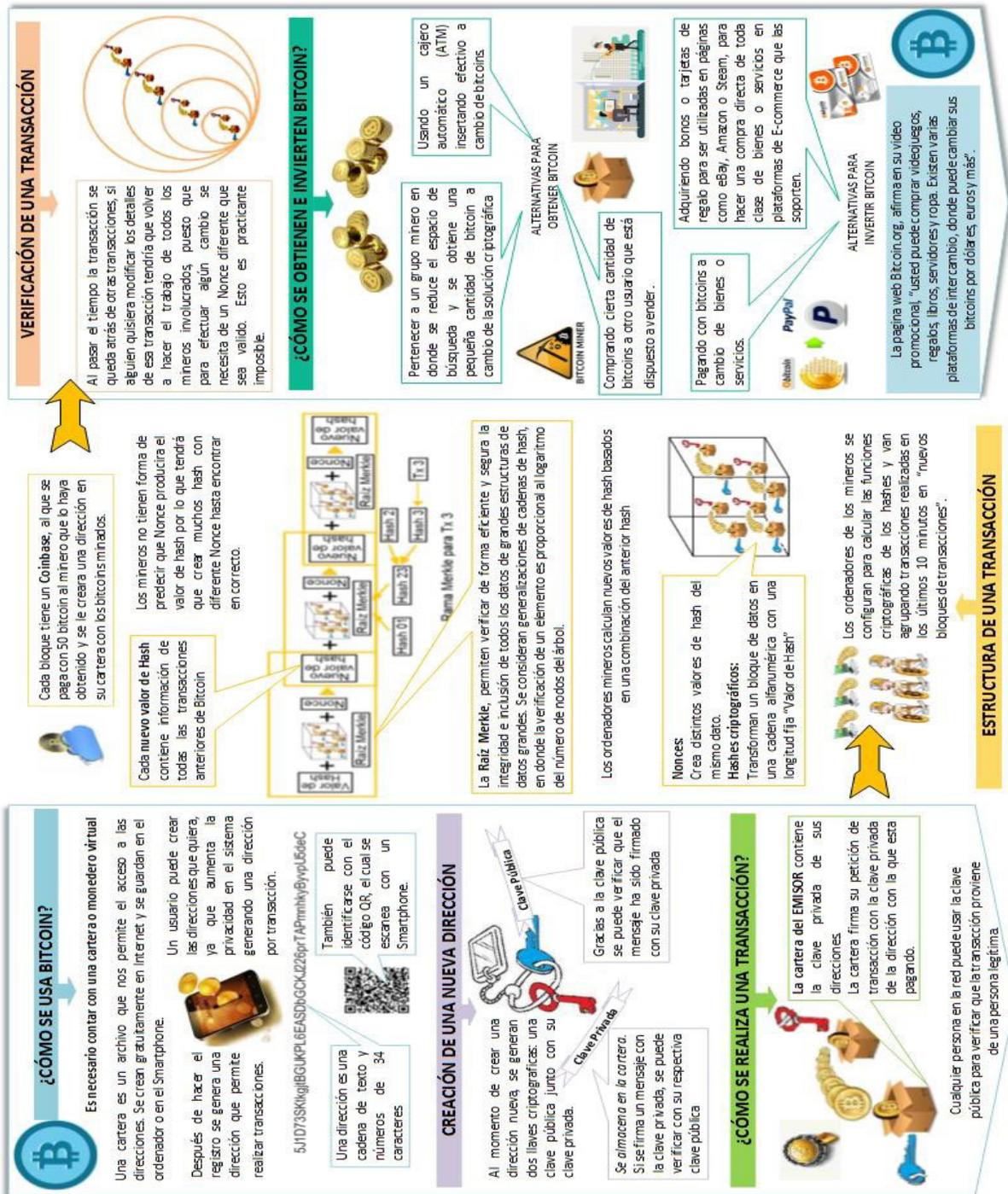


Figura 3. Generalidades del Protocolo Bitcoin y proceso de transacción.

4. FUNCIONAMIENTO DEL BITCOIN

Para que los usuarios puedan realizar transacciones de bitcoins, deben instalar una billetera digital en su ordenador o Smartphone. Una billetera es un archivo que contiene un número determinado de pares de claves criptográficas enlazadas a sus respectivas direcciones [85]. Bitcoin se basa en la criptografía de una clave pública y una privada: la clave pública está disponible para que cualquier usuario en la red la pueda ver, mientras que la clave privada es conocida solo por sus equipos [86]. Los usuarios que reciben bitcoins envían sus claves públicas a los usuarios para transferir los bitcoins y quienes transfieren las monedas firman con sus claves privadas, y la transacción se transmite entonces por la red Bitcoin [87]. Los bitcoins se envían y reciben a través de direcciones, que son largas secuencias alfanuméricas entendidas por la red. Para el envío de bitcoins, simplemente se introduce la dirección del receptor en la billetera, en otros casos esta dirección se codifica como código QR [88].

Cuando cierta cantidad de bitcoins se envían de una billetera a otra la transacción es recogida por la red, sin embargo la transacción debe ser verificada. Los mineros convierten la información del bloque en una secuencia alfanumérica, que de manera efectiva produce una firma y un sello de tiempo usando una función criptográfica. Esto se conoce como el Hash (en el caso de Bitcoin, es Secure Hash Algorithm SHA-256), esta firma evita que la transacción sea alterada por alguien, una vez que se ha emitido [89], [90]. Por lo anterior, el Bitcoin tiene como característica el anonimato, esto significa que un usuario es anónimo con respecto a un conjunto de usuarios [91],[92]. Por otro lado, se evidencian intentos para poder obtener la identificación de los usuarios Bitcoin [79], [93]. Juskalian relata cómo sería vivir durante 48 horas solo con transacciones en bitcoins [94].

4.1. La minería Bitcoin

Al momento de efectuar una transacción se genera un cambio de propiedad, donde no se puede verificar si uno de los dueños hizo un doble gasto de la moneda [95], [96]. La solución es estar al tanto de todas las transacciones (para lograrlo sin intermediarios se deben hacer públicamente), contando con usuarios que estén de acuerdo con un historial de marcas de tiempo. Cuando se realiza una transacción cada usuario puede tener certeza de que la mayoría de los nodos estuvieron de acuerdo con ese cambio de propiedad, ya que todas las transacciones son difundidas entre los usuarios mediante un libro de contabilidad pública, que sirve como soporte de la red Bitcoin y permite registrar todas las transacciones que por lo general comienzan a ser confirmadas por la red en los siguientes diez minutos [97].

Cada transacción se envía a un bloque que posteriormente se agrupa en una cadena de bloques, mediante un proceso que implica el cálculo repetido de una función hash [98]. Cada bloque de hash es único y se genera, en parte, utilizando el hash del bloque anterior. De esta manera, la billetera calcula el saldo gastable y las nuevas transacciones pueden ser verificadas. A través de una prueba de cifrado, se verifica y recopila la transacción a lo largo de otras transacciones pendientes, y una vez arbitraria esta tiene una forma específica; es así como se descentraliza la verificación y el registro de transacciones [75], [99].

Para la solución exitosa de este laberinto criptográfico conocido como minería, el proceso requiere un considerable esfuerzo y equipo computacional que es recompensado con bitcoins recién generados y/o comisiones de movimiento, esta recompensa es actualmente de 25 bitcoins por bloque, pero se reducirá a 12,5 bitcoins por bloque alrededor del año 2017 [100]. Una vez los bitcoins se extraen

con éxito, se genera la clave privada oculta que se utiliza para firmar transacciones y permite el acceso a los bitcoins (si esta se pierde, los bitcoins se han ido para siempre). Como lo dan a conocer O'Dwyer y Malone, en la figura 4 se aprecia la dificultad de encontrar un nuevo bloque con el paso del tiempo [101].

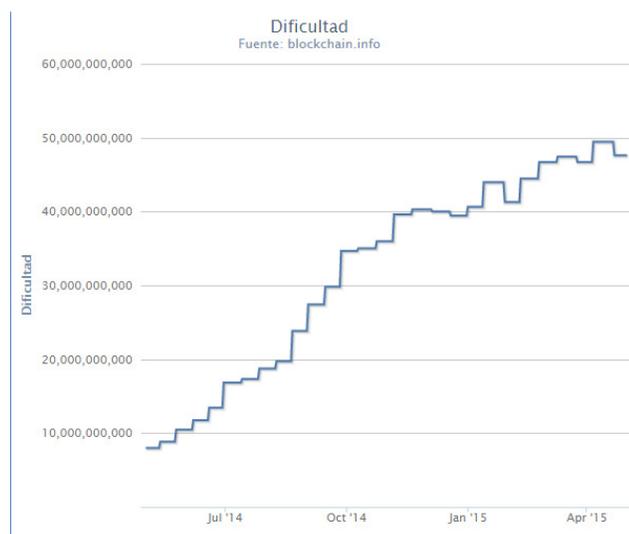


Figura 4. Dificultad para generar nuevos bloques.
Fuente: Blockchain.info [102].

En sus inicios, un bitcoin se compraba por 25 centavos en un intercambio, y un minero con solo la CPU de un ordenador podía minar una cantidad considerable de nuevos bitcoins en un día. Con el paso del tiempo la creación de bitcoins ha aumentado su complejidad [103], lo que significa que los mineros necesitan constantemente la potencia de procesamiento más avanzada para competir, siendo indispensable las computadoras diseñadas exclusivamente para la minería. Como consecuencia han surgido las siguientes tecnologías para hacer minería, cada una de ellas más rápida y eficiente que la anterior: CPU, GPU, FPGA y la que actualmente se utiliza: la plataforma de circuito integrado de aplicación específica (ASIC), diseñada particularmente

para ejecutar la operación de hash [104]. De este modo, Taylor describe en detalle la evolución de los hardware anteriormente mencionados para la minería Bitcoin [105].

4.2. Prueba de trabajo

Bitcoin hace que sea computacionalmente difícil trabajar un bloque, al exigir que el hash resultante tenga propiedades numéricas específicas. Lo anterior conlleva a un complejo trabajo por parte de los mineros, ya que es necesario mantener un registro de identificación de la cadena de bloques mediante una prueba-de-trabajo [106]. Este se logra estando seguro de tener la cadena más larga con el fin de obtener la rama de Merkle (la cual enlaza la transacción al bloque en que ha sido fechado) [107]. Para el cálculo de la función hash se combinan datos de bloques anteriores y un nonce [108]. El "nonce" de un bloque Bitcoin es un campo de 32 bits (4 bytes) cuyo valor se establece de modo que el hash del bloque contenga una cadena de ceros para controlar la complejidad en los cálculos de los nuevos bloques [109]. A fin de encontrar un bloque válido la única alternativa será ir obteniendo diferentes nonce hasta encontrar uno que cumpla el requisito preestablecido [110], dado que las funciones hash criptográficas no son invertibles.

4.3. El proceso de transacción Bitcoin

La base de Bitcoin son dos esquemas criptográficos: la firma digital y el hash criptográfico.

- **Firma digital:** permite el intercambio de instrucciones precisas de pago entre cada una de las partes de la transacción. Esta sirve para formalizar un mensaje entre el emisor y el receptor asegurando: autenticación (el receptor verifica que el mensaje proviene del emisor), no abandono (el emisor no puede rechazar el envío del mensaje), e integridad (el mensaje no puede ser manipulado). El hash se entrega con

la clave privada, y el resultado será la firma digital. Luego, el documento se entrega junto con la firma digital y la clave pública. Al final del proceso de verificación si los hashes coinciden la firma es válida. En la figura 5 se presenta el proceso de firma digital en un mensaje [111]:

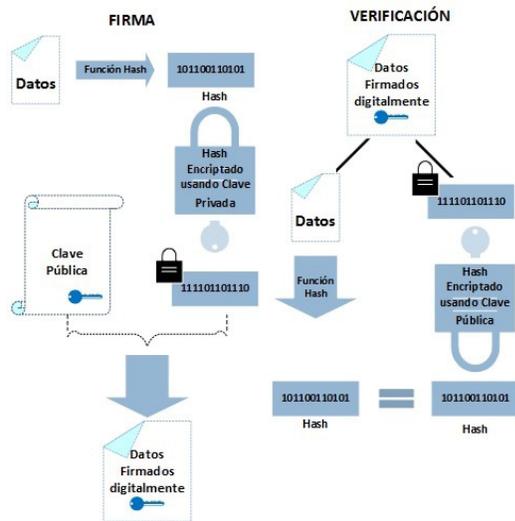


Figura 5. Proceso de firma digital de un mensaje.

- **Hashes criptográficos:** es un algoritmo que toma como entrada unos datos de longitud cualquiera (mensaje) y devuelve una cadena de

bits de longitud fija (hash). Las funciones hash aseguran: resistencia a preimagen, resistencia a segunda preimagen y resistencia a colisión [111].

5. VOLATILIDAD, RIESGOS Y ATAQUES QUE HA SUFRIDO EL BITCOIN

A pesar de que Bitcoin no tiene un valor intrínseco, su precio ha sido muy volátil, este se ha elevado hasta alcanzar máximos y luego ha bajado rápidamente hasta llegar a valer casi nada. Por ejemplo, en enero de 2013, un bitcoin fue cambiado por USD\$ 20; el 10 de abril, el tipo de cambio alcanzó USD\$ 266 dólares y después de tres días se redujo a USD\$ 54 [112]. En diciembre de 2013, el valor de mercado de un bitcoin disparó más allá de USD\$ 1000 y alcanzó un récord de USD\$ 1242, a principios de 2014 este bajó y llegó a valer USD\$ 900 [113]. Por otra parte, los precios de Bitcoin han demostrado históricamente ser muy sensibles a los acontecimientos referentes al sistema de pago. Por ejemplo, el precio Bitcoin cayó más o menos un 18 % el 2 de octubre de 2013, el día de los arrestos de la Ruta de la Seda. Al día siguiente los precios subieron un 13,9 % [114]. En la figura 6 se muestra el precio del mercado de bitcoins en el último año.

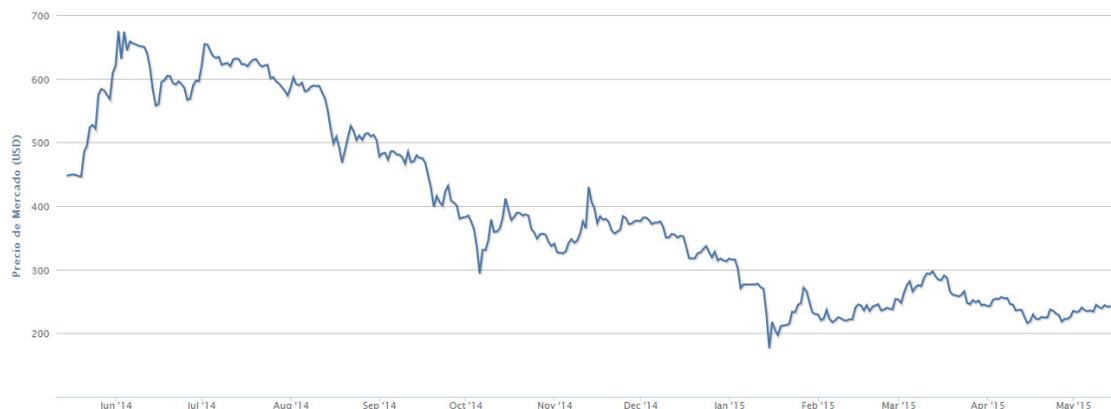


Figura 6. Precio del Mercado de bitcoins en Dólares. Fuente: Blockchain.info [102].

Según Blockchain.info, a la fecha de 25 de abril de 2015 el valor de bitcoin en el mercado se encontraba alrededor de \$226,88 USD (ponderado). Algunas personas tienen la expectativa de que gracias a la volatilidad pueden obtener grandes cantidades de dinero rápidamente, pero también se puede perder en un momento. Wu y Pandey mencionan casos en que los usuarios se han enriquecido y otros que han quedado en la ruina por la pérdida de grandes cantidades de bitcoin, debido a la variación en su precio [115]. Es sabido que la volatilidad del Bitcoin es mayor que la del dólar estadounidense [116]. Doug asegura que hasta el 2014 este mercado era muy pequeño comparado con el dólar: el valor de todos los bitcoins en circulación era USD\$ 5900 millones, un 0,05 % el tamaño del dinero de EE.UU [117].

En CRIMA Portfolio, se afirma que la oferta limitada de bitcoins hace que los precios suban y fluctúen debido a la especulación, y a menos que los precios se estabilicen, invertir en la moneda virtual es una gran apuesta [118]. La figura 7 da a conocer eventos importantes sobre la volatilidad que ha sufrido la moneda desde el inicio de sus operaciones y casos donde el Bitcoin ha sido objeto de ataques desde múltiples direcciones, incluyendo robos masivos, fraudes y actividades criminales, así como posibles ataques que involucran transacciones polvo y de doble gasto [119]-[134].

6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BITCOIN

6.1. Ventajas

Algunas ventajas del Bitcoin destacadas por Vásquez son: la moneda no es embargable, se pueden tener varias cuentas pudiendo ser diversificadas en distintos lugares del mundo, no es necesario la tutela de un gobierno a través de instancias de política monetaria, funciona sin interrupciones las 24 horas del día, no tiene intermediarios para realizar un cobro o un pago, tiene costos bajos por administraciones de

gestión en internet y permite almacenar importantes sumas de dinero equivalentes en bitcoins y sin costo extra de administración [123].

Por otra parte, el Bitcoin omite por completo el sistema tradicional, ya que las transacciones se hacen *peer to peer* como dinero digital y su irreversibilidad elimina la posibilidad de fraude (lo que permite a los comerciantes aceptar pagos con confianza y mantener tasas bajas, contrario a las empresas que trabajan con tarjeta de crédito las cuales exigen una cuota alrededor del 3 % en cada compra), proporcionando altos niveles de anonimato de los remitentes y receptores [135]-[139].

Asimismo, Bitcoin permite su intercambio por monedas tradicionales en muchas casas de cambio a través de diversos intermediarios, e incluso a través de los cajeros automáticos. Hay quienes en Silicon Valley creen que Bitcoin podría reemplazar las monedas fuertes tradicionales, especialmente en países con altas tasas de inflación [140] y [141].

6.2. Desventajas

Como desventajas del Bitcoin se consideran: la incertidumbre, la falta de regulación y las externalidades de la red. Asimismo, el Bitcoin al ser un sistema descentralizado tiene el potencial de amenazar la estabilidad económica mundial por la que el FMI fue creado para proteger [142]. Igualmente, una eventual colocación del Bitcoin puede afectar la estabilidad financiera [143]. Aunque Bitcoin proporciona características que aumentan la privacidad de las transacciones, al mismo tiempo estas pueden ser usadas por usuarios malintencionados para ejecutar robos y acciones delictivas. Por ejemplo, gracias al anonimato y a la dificultad para enlazar las transacciones con sus respectivos emisores, Bitcoin puede ser usado para lavar dinero, para comercio ilícito y para el tráfico de sustancias y productos ilegales (drogas, armas), o para financiación de organizaciones criminales [144].

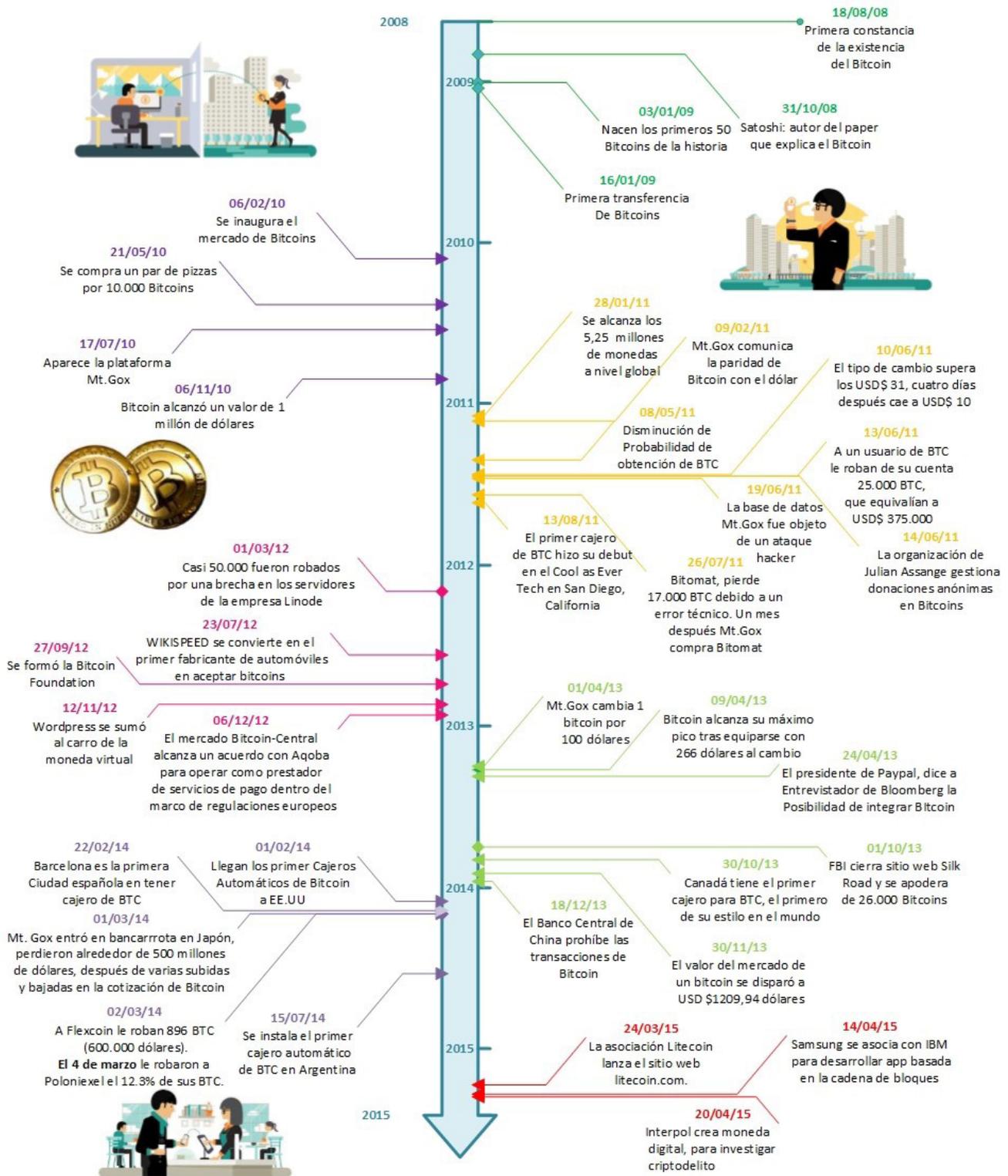


Figura 7. Cronología del Bitcoin.

Se afirma que en principio el suministro de bitcoins podría ser lo suficientemente sólido para funcionar como un sustituto de la moneda, pero aún no está listo para desempeñar este papel. Asimismo, asegura que su tecnología es más como Windows, iOS o Android en sus primeras etapas, por lo que necesita un ecosistema de productos y servicios complementarios para hacer esta tecnología fácil de utilizar [145]. Hasta que la moneda no se estabilice y existan métodos fiables para el seguimiento de su uso, Bitcoin podría presentar dificultades reales de contabilidad y preservación de capital en las industrias. Por ejemplo, hay casos donde el Bitcoin ha llevado a compañías a la quiebra, como es el caso de Alydian [146].

7. RECONOCIMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL BITCOIN POR ORGANISMOS INTERNACIONALES

Algunos comerciantes conocidos a nivel internacional, tales como la compañía de computadores Dell (en julio de 2014 anunció que aceptaría

bitcoins como el pago a través de su sitio web) [147], Expedia, y Overstock.com se unieron a la red Bitcoin, junto con una serie de empresas más pequeñas, como el Tea Company Nuevo México y la colina de césped Alpacas. Incluso el United Way ahora acepta donaciones en bitcoin [104]. Ah Kun muestra algunos ejemplos de compañías que también aceptan bitcoins [148].

La complejidad de la implementación de un marco regulatorio se enfatiza en aspectos jurídicos importantes como la protección de datos y privacidad, la protección del consumidor, las cuestiones de derecho internacional privado, la legislación del comercio electrónico incluyendo cuestiones de responsabilidad en mundos virtuales, los aspectos de regulación financiera y el conocimiento del cliente [149]. Aun así, hay países que han empezado a definir y aplicar un marco regulatorio para el Bitcoin gracias a la popularidad que ha tenido en los mercados internacionales [57],[150]-[157], como se evidencia en la figura 8.

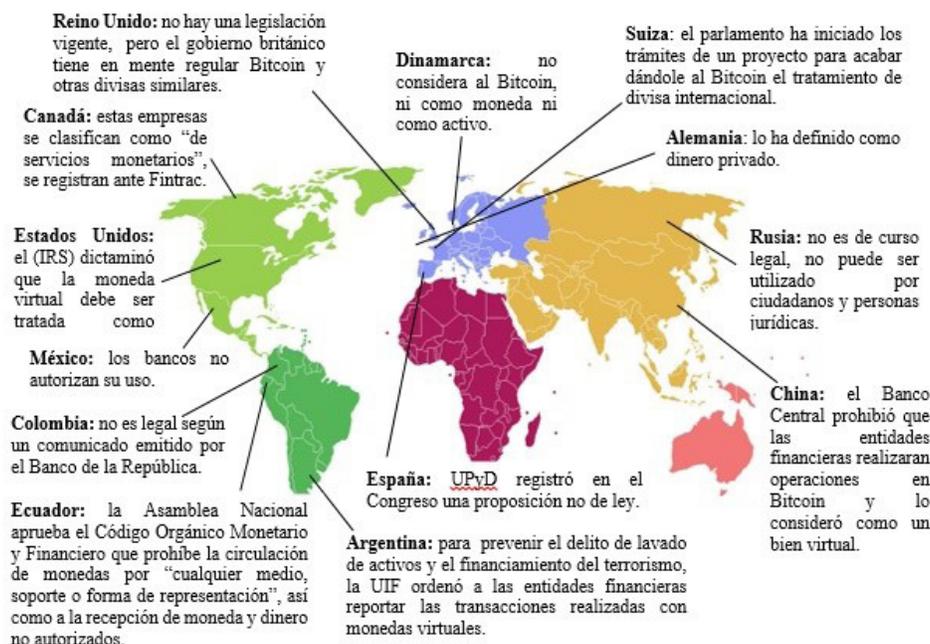


Figura 8. Reconocimiento del Bitcoin por organismos internacionales.

Se podría argumentar que Bitcoin y otras monedas digitales se encuentran en algún lugar de la frontera entre divisas, materias primas y activo financiero, o simplemente no existe regulación alguna por la confusión en su tratamiento fiscal [158]-[160]. Existen páginas donde se pueden consultar eventos, conferencias y reuniones a realizar alrededor de los mundos programados para el presente año, relacionados con el Bitcoin [161], [162].

8. CONCLUSIÓN Y ESTUDIOS FUTUROS

Con la invención del Bitcoin se rompe el paradigma en el que se entiende el dinero, como sucedió con la invención de la imprenta pasando del intercambio con monedas al intercambio con billetes. Las diferentes formas que el dinero ha adoptado a lo largo de la historia han venido acompañadas de una reducción en los costos de transacción, y Bitcoin no es la excepción. Este sistema es considerado como un mecanismo de intercambio al contar con las características de una moneda virtual, ganando mayor popularidad al ser aceptada en más lugares como medio de pago, al igual abre la posibilidad de ser una nueva forma de realizar transacciones: haciendo posible negocios de forma dinámica. Para unos cuantos, Bitcoin es tan solo una burbuja económica que tarde o temprano terminará explotando, pero para otros podría ser la moneda que cambiará al mundo en cuanto a los pagos online, esto no es del todo inverosímil ya que se cuenta con la tecnología, y se está pensando en la necesidad de infraestructura para que este sistema sea reconocido como una forma de intercambio comercial aceptado y respaldado mundialmente. Algunos países han propuesto su regulación aumentando el control por parte de autoridades, ya que los servicios financieros podrían ser potencialmente alterados. Otros no se han pronunciado al respecto, pero tampoco lo prohíben.

Hay oportunidades para las grandes empresas de tecnología, quienes tienen la posibilidad de desarrollar la capacidad de procesamiento y convertirse

en cámaras de compensación de monedas digitales por sí mismas o a través de sociedades mixtas con entidades financieras. Pero aun así, existen varios aspectos sobre el sistema Bitcoin donde no se tiene claridad, como la contabilidad empresarial, la declaración de impuestos, el marco regulatorio y la seguridad en las transacciones (reducir la capacidad para falsificar una moneda fuerte). Si se pretende masificar la confianza del usuario, es necesario fortalecer el sistema en estos aspectos para que aun más empresas del sector tecnológico o startups le empiecen a apostar. Por lo tanto, las instituciones y reguladores financieros que entiendan y adopten finalmente el Bitcoin, tendrán más posibilidades de liderar el nuevo sistema monetario digital. Empresas del sector tecnológico o startups ya le están apostando al Bitcoin, como es el caso de la multinacional IBM que ha empezado a utilizar esta moneda para temas de Big data e internet de las cosas.

9. REFERENCIAS

- [1] "World Internet Usage and Population Statics", Internet World Stats-Usage and Population Statics, 2014, [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en <http://www.internetworldstats.com/stats.html>
- [2] N. Safa and M. Ismail, "A customer loyalty formation model in electronic commerce", *Economic Modelling*, vol. 35, pp. 559-564, 2013.
- [3] Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango, "Las tarjetas como dinero", [en línea]. Consultado el 29 de abril de 2015, Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudade-tareas/economia/econo32.htm>
- [4] E. Cuervo, "Implementación de un monedero digital móvil", México, Centro de Investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional, 2005.
- [5] M. Reina, S. Zuluaga y M. Rozo, *El dinero y la política monetaria*, Bogotá D.C, Banco de la República, Departamento de Comunicación Institucional, 2006.

- [6] M. Santana, "Reinventando el dinero. Experiencias con monedas comunitarias", México, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 2008.
- [7] J. Surowiecki, "A brief history of money", *IEEE Spectrum*, vol. 49, no. 6, pp. 44-79, 2012.
- [8] R. Bustamante, K. Escoto de Chávez, E. García y E. Turcio, "Evaluación de la moneda alternativa como un medio que posibilita la economía solidaria: caso de estudio Suchitoto", San Salvador, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", 2012.
- [9] J. William y C. Eagleton, *Historia del dinero*, Barcelona, Paidós, 2009.
- [10] A. Gómez, "El dinero electrónico como sustituto parcial del efectivo y posible mecanismo para masificar el acceso a los servicios financieros. Análisis de la normativa costarricense y la comparada", Universidad de Costa Rica, 2012.
- [11] L. Aranda, "El uso de cacao como moneda en la época prehispánica y supervivencia en la época colonial", en XIII Congreso Internacional de Numismática, vol. 2, pp. 1439-1450, 2003.
- [12] K. Saito and E. Morino, "Towards Tangible 'Virtual Money'-Position Paper", in 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp. 1-5, 2009.
- [13] L. Wray, "An irreverent overview of the history of money from the beginning of the beginning through to the present", *Journal of Post Keynesian Economics*, vol. 21, no. 4, pp. 679-687, 2015.
- [14] J. Hoyle and G. Whitehead, "The development of the money system", in *Elements of Banking*. Made Simple Books, William Heinemann, 1987, pp. 12-28.
- [15] A. Vico, "Monedas Griegas", Real Academia, Madrid, Real Academia de la Historia. *Catálogos del Gabinete de Antigüedades* II.2.1, 2006.
- [16] V. Godazgar and L. Haddadi, "The Mechanisms of the Bullion Markets and the Return of Gold (and Silver) as Money", in *7th International Conference on e-Commerce in Developing Countries: With Focus on e-Security*, 2013, pp. 1-14.
- [17] Instituto del Tercer Mundo (ITEM), Instituto de Estudios Políticos de América Latina y África, *Guía del Mundo 2008: el presente y sus razones*, SM 2007. 2008.
- [18] J. Weatherford, *The History of Money*, 1st Pbk. United States, The Crown Publishing Group, 2009.
- [19] D. Housel, *La historia del dinero*, Student, Huntington Beach, CA, Teacher Created Materials, Inc, 2008.
- [20] K. Reed, "The history of money: from cows to Bitcoin", *Tennessee Bar Journal*, vol. 50, no. 8, pp. 25-28, 2014.
- [21] R. Werner, "How do banks create money, and why can other firms not do the same? An explanation for the coexistence of lending and deposit-taking", *International Review of Financial Analysis*, vol. 36, pp. 71-77, 2014.
- [22] M. Gozalbes, *Historia del dinero*, Valencia, Museu de Prehistoria de Valencia, 2011.
- [23] A. Aparicio, "Historia económica mundial 1870-1950", *Economía Informa*, vol. 2013, no. 382, pp. 99-115.
- [24] M. Maggi y P. Parra, *¿Qué es un banco central?*, Bogotá D.C., Banco de la República.
- [25] E. Junguito y C. Ayala, "Autonomía del Banco de la República", Bogotá D.C., Pontificia Universidad Javeriana, 2000.
- [26] L. Rockwell, "Payment Cards", *Encyclopedia of Forensic Sciences*, vol. 2, pp. 432-438, 2013.
- [27] B. de España, "Clases de Tarjetas", [en línea]. Consultado el 23 de marzo del 2015, disponible en: <http://www.bde.es/clientebanca/productos/tarjetas/clases/clases.htm>
- [28] K. Carow and M. Staten, "Debit, credit, or cash: survey evidence on gasoline purchases", *Journal of Economics and Business*, vol. 51, no. 5, pp. 409-421, 1999.

- [29] "Is electronic money a disruptive technology?" *Card Technology Today*, vol. 12, pp. 12-14, 2000.
- [30] J. Weatherford, *La historia del dinero: de la piedra arsénica al ciberespacio*, Barcelona, Andrés Bello, 1997.
- [31] J. Rosario, "El dinero plástico", *Boletín del Instituto de Estudios Almerienses*, Instituto de Estudios Almerienses, pp. 193-214, 1992.
- [32] H. Ortiz, "Análisis de las Tarjetas de Crédito en Colombia", *Observatorio Económico de Santander*, Universidad Santo Tomás, p. 6, 2014.
- [33] K. Shelfer, C. Corum, J. Procaccino and J. Didier, "Smart Cards", *Advances in Computers*, vol. 60, pp. 147-192, 2004.
- [34] J. Aguirre, *Historia del dinero en el siglo XX*, México, 1997.
- [35] Subdirección General de Estudios del Sector Exterior, "Dinero e Internet", *Boletín Económico de ICE*, no. 2729, pp. 3-6, 2002.
- [36] J. Guo and A. Chow, "Virtual money systems: A phenomenal analysis", in *10th IEEE Conference on E-Commerce Technology and the Fifth IEEE Conference on Enterprise Computing, E-Commerce and E-Services*, 2008, pp. 267-272.
- [37] N. Waraporn, M. Sithiyavanich, H. Jiarawattanasawat and N. Pakchai, "Virtual Credit Cards on Mobile for M-Commerce Payment", in *IEEE International Conference on e-Business Engineering*, 2009, pp. 241-246.
- [38] H. Kinoshita, M. Kudo, T. Morizumi and K. Suzuki, "An Electronic Money System as Substitute for Banknotes", in *0th Annual International Symposium on Applications and the Internet*, 2010, pp. 316-319.
- [39] "Pecunix", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <http://www.pecunix.com/>
- [40] "Second Life", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <http://secondlife.com/>
- [41] "Facebook Came Cards", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://www.facebook.com/credits/>
- [42] F. Brezo, "Aplicaciones ciberdelictivas de criptomonedas como Bitcoin", Centro de Análisis y Prospectiva, Guardia Civil, España, 2012.
- [43] European Central Bank (ECB), "Virtual Currency Schemes", 2012.
- [44] S. Rotman, "El bitcoin versus el dinero electrónico", Washington D.C, Grupo Consultivo de Ayuda a los Pobres (CGAP), pp. 1-4, 2014.
- [45] L. Chen and H. Wu, "The influence of Virtual money to real currency: A case-based study", in *International Symposium on Information Engineering and Electronic Commerce*, 2009, pp. 686-690.
- [46] J. McKee, "Redefining Virtual Currency", *Yankee Group*, pp. 1-11, 2013.
- [47] S. Feld, M. Schönfeld and M. Werner, "Analyzing the Deployment of Bitcoin's P2P Network under an AS-level Perspective", in *The 5th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT-2014), the 4th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2014)*, 2014, vol. 32, pp. 1121-1126.
- [48] J. Connell, "Alderney: gambling, Bitcoin and the art of unorthodoxy", *Island Studies Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 69-78, 2014.
- [49] V. Gonzales, "Análisis sobre el origen, comportamiento y crecimiento del mercado del Bitcoin", México, Colegio de Postgraduados-Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, 2014.
- [50] A. Campos, "Estudio de la red Bitcoin", Cataluña, Universidad Oberta de Catalunya, 2013.
- [51] M. Sudacevski, "Bitcoin-Un Nou Tip de Moned", *Management Intercultural*, vol. 15, no. 3, pp. 340-348, 2013.
- [52] D. Yermack, "Is Bitcoin a Real Currency? An economic appraisal", *Working paper, NBER*, pp. 1-14, 2013.
- [53] D. Ron and A. Shamir, "Quantitative Analysis of the Full Bitcoin Transaction Graph", in *Financial Cryptography and Data Security. 17th International Conference, FC 2013*, 2013, no. 7859, pp. 6-24.

- [54] S. Lo and J. Wang, "Bitcoin as Money?", *Federal Reserve Bank of Boston*, vol. 14, no. 4, pp. 1-28.
- [55] N. Karp, M. Nava, B. Stacey, C. Cuesta, O. Gouvela and A. Neut, "Bitcoin: A Chapter in Digital Currency Adoption", United States, Spain, 2013.
- [56] R. Joseph Cook, "Bitcoins: Technological Innovation or Emerging Threat?", *The John Marshall Journal of Information Technology & Privacy Law*, vol. 30, no. 3, pp. 535-570, 2014.
- [57] A. Cofnas, "Bitcoin: Currency or Commodity?", *Futures: News, Analysis & Strategies for Futures, Options & Derivatives Traders*, vol. 43, no. 6, pp. 10-12, 2014.
- [58] "Bitstamp", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://www.bitstamp.net/>
- [59] "btc-e", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://btc-e.com/>
- [60] "Bitfinex", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://www.bitfinex.com/>
- [61] "Kraken", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://www.kraken.com/>
- [62] "LocalBitcoins", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://localbitcoins.com/fr/>
- [63] "Bitpay", [en línea], Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://bitpay.com/>
- [64] "Coinbase", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://www.coinbase.com/>
- [65] "bitcoin.org", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://bitcoin.org/es/>
- [66] "Bitcoin Wiki", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://es.bitcoin.it/>
- [67] "BitcoinTalk", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://bitcoin-talk.org/>
- [68] "Blockchain.info", [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <https://blockchain.info/es>
- [69] E. Nemeroff, "South Carolina Gets Its First Bitcoin ATM", *American Banker*, vol. 179, no. F315, United States, apr-2014.
- [70] Global News, "Bitcoin ATM set up in Singapore", *Global Banking News*, feb-2014.
- [71] PR Newswire, "My Wallet LTD Pioneers Bitcoin ATMs in Major European Capital Cities", *PR Newswire US* mar-2015.
- [72] P. Liljas, "World's First Bitcoin ATM Launched in Canada", *Time.com*, p. 1, oct-2013.
- [73] E. Cohen, "The Bitcoin Economy", *Business NH Magazine*, p. 2, 23-jul-2014.
- [74] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", pp. 1-9, 2008.
- [75] J. Bohr and M. Bashir, "Who Uses Bitcoin? An exploration of the Bitcoin community", in *Twelfth Annual Conference on Privacy, Security and Trust (PST)*, 2014, pp. 94-101.
- [76] S. Barber, X. Boyen, E. Shi and E. Uzun, "Bit-ter to Better-How to make Bitcoin a Better Currency", in *16th International Conference, FC 2012, Financial Cryptography and Data Security*, 2012, p. pp 399-414.
- [77] D. Rice, "The Past and Future of Bitcoins in Worldwide Commerce", *Business Law Today BLT*, pp. 1-4, 2013.
- [78] M. Peck, "The cryptoanarchists' answer to cash", *Spectrum, IEEE*, vol. 49, no. 6, pp. 50-56, 2012.
- [79] S. Meiklejohn, M. Pomarole, G. Jordan, K. Levchenko, D. McCoy, G. M. Voelker and S. Savage, "A fistful of Bitcoins: Characterizing payments among men with no names", *Internet Measurement Conference-IMC, '13*, vol. 38, no. 6, pp. 127-140, 2013.
- [80] N. Neslund, "648 K-Bit About Bitcoin", *Singidunum Journal of Applied Sciences*, pp. 1-7, 2014.
- [81] K. Hill, "Living on Bitcoin a Year Later: The All-Bitcoin Start-Up With No Bank Account", *Forbes*, pp. 6-6, dec-2014.

- [82] J. Aron, "Building on Bitcoin", *New Scientist Magazine*, vol. 221, no. 2955, pp. 19-20, aug-2014.
- [83] Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación (INTECO), "Bitcoin: Una moneda criptográfica", 2014.
- [84] G. Karame, E. Androulaki and S. Capkun, "Two Bitcoins at the Price of One? Double-Spending Attacks on Fast Payments in Bitcoin", in *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS)*, 2012, pp. 1-17.
- [85] P. Šurda, "Economics of Bitcoin : is Bitcoin an alternative to at currencies and gold?", *Wirtschafts Universitat Wien, Vienna University of Economics and Business*, 2012.
- [86] J. Brito and A. Castillo, "Bitcoin: A Primer for Policymakers", *Policy*, vol. 29, no. 4, pp. 3-12, 2013.
- [87] E. Gregersen, "Bitcoin", *Encyclopedia Britannica*, apr-2014.
- [88] D. Bradbury, "Bitcoin Bet", *Backbone Magazine*, pp. 24-27, nov-2013.
- [89] I. Miers, C. Garman, M. Green and A. Rubin, "Zerocoin: Anonymous distributed e-cash from bitcoin", in *Proceedings - IEEE Symposium on Security and Privacy*, 2013, pp. 397-411.
- [90] S. Mantilla, *Bitcoin : la otra cara de la moneda*, 1ra ed. Buenos Aires, Instituto de Estrategia Internacional, 2014.
- [91] A. Pfitzmann and M. Hansen, "Anonymity, Unlinkability, Unobservability, Pseudonymity, and Identity Management - A Consolidated Proposal for Terminology. Version 0.25", in *Designing Privacy Enhancing Technologies, International Workshop on Design Issues in Anonymity and Unobservability*, 2000, p. 43.
- [92] M. Möser, R. Böhme and D. Breuker, "An Inquiry into Money Laundering Tools in the Bitcoin Ecosystem", in *Proceedings of the 2013 e-Crime Researches Summit*, 2013, pp. 1-14.
- [93] F. Reid and M. Harrigan, "An Analysis of Anonymity in the Bitcoin System", in *2011 IEEE International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and IEEE International Conference on Social Computing*, 2011, pp. 1318-1326.
- [94] R. Juskalian, "A Weekend in Bitcoin City : Arnhem, the Netherlands", *MIT Technology Review*, vol. 118, no. 2, pp. 69-72, 2015.
- [95] C. Beer and B. Weber, "Bitcoin-The Promise and Limits of Private Innovation in Monetary and Payment Systems", *Monetary policy & the economy: quarterly review of economic policy*, no. 3, pp. 53-66, 2014.
- [96] T. Bamert, C. Decker, L. Elsen, R. Wattenhofert and S. Welten, "Have a Snack, Pay with Bitcoins", in *13-th IEEE Internacional Conference on Peer-to-Peer Computing*, 2013, pp. 1-5.
- [97] A. Vance and B. Stone, "Bitcoin Rush: it takes an army of believers to mine a virtual currency", *Bloomberg Businessweek*, no. 4362, pp. 46-51, 2014.
- [98] B. Bradbury, "In Blocks We Trust", *Engineering & Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 68-71, 2015.
- [99] G. Dwyer, "The Economics of Bitcoin and Similar Private Digital Currencies", *Journal of Financial Stability*, vol. 17, no. Instead of the Fed: Past and Present Alternatives to the Federal Reserve System, pp. 81-91, 2014.
- [100] M. Hall, "Bitcoin: Change You Can Believe In?", *PC Magazine*, june, pp. 10-14, 2013.
- [101] K. Dwyer and D. Malone, "Bitcoin Mining and its Energy Footprint", in *Irish Signals & Systems Conference 2014 and 2014 China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies (ISSC 2014/CI-ICT 2014). 25th IET*, 2013, pp. 280-285.
- [102] "Blockchain.info", [en línea]. Consultado el 20 de abril de 2015, disponible en: https://blockchain.info/es/charts/market-price?timespan=2year&showDataPoints=false&daysAverageString=1&show_header=true&scale=0&address

- [103] "Video: the Rise and Rise of Bitcoin", *Teletrabaja*, 2014, [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=YqfwGnW4aH4>
- [104] S. T. Middlebrook, "Bitcoin for Merchants: Legal Considerations for Businesses Wishing to Accept Bitcoin as a Form of Payment", *Business Law Today (BLT)*, 2014.
- [105] M. B. Taylor, "Bitcoin and The Age of Bespoke Silicon", in *Proceedings of the 2013 International Conference on Compliers, Architectures and Synthesis for Embedded Systems (CASES)*, 2013, pp. 1-10.
- [106] D. Kondor, M. Pósfai, I. Csabai and G. Vattay, "Do the rich get richer? An empirical analysis of the Bitcoin transaction network", *PLoS ONE*, vol. 9, no. 2, pp. 11-10, 2014.
- [107] G. Chaudhary, "Bitcoin : A Step Ahead in Technology", *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 4, no. 10, pp. 752-757, 2014.
- [108] N. Roth, "An Architectural Assessment of Bitcoin: Using the Systems Modeling Language", *Procedia Computer Science*, vol. 44, pp. 527-536, 2015.
- [109] C. Decker and R. Wattenhofer, "Information propagation in the Bitcoin network", *13th IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, IEEE P2P 2013-Proceedings*, pp. 1-10, 2013.
- [110] N. Wenker, "On line Currencies, Real-World Chaos: The Struggle to Regulate the Rise of Bitcoin", *Texas Review of Law Politics*, vol. 19, no. 1, pp. 145-197, 2014.
- [111] A. Badev and M. Chen, "Bitcoin : Technical Background and Data Analysis", *Working Papers, U.S. Federal Reserve Board's Finance & Economic Discussion Series*, pp. 1-38, 2014.
- [112] A. Rogojanu and L. Badea, "The Issue of competing Currencies. Case Study-Bitcoin", *Theoretical and Applied Economics: GAER review*, vol. 21, no. 1, pp. 103-114, 2014.
- [113] N. Sharon and S. John, "What You Need to Know About Bitcoins", *Law Practice: The Business of Practicing Law*, vol. 40, no. 5, p. 4, sep-2014.
- [114] P. Martinson and C. Masterson, "Bitcoin and the Secured Lender", *Banking & Financial Services Policy Report*, vol. 33, no. 6, pp. 13-20, 2014.
- [115] C. Wu and V. Pandey, "The Value of Bitcoin in Enhancing the Efficiency of an Investor's Portfolio", *Journal of Financial Planning*, vol. 27, no. 9, pp. 44-52, 2014.
- [116] J. G. Haubrich and A. Orr, "Bitcoin versus the Dollar", *Federal Reserve Bank of Cleveland, Economic Trends*, pp. 2-4, aug-2014.
- [117] H. Doug, "The Bitcoin Fantasy", *The Nation*, vol. 298, no. 20, pp. 12-17, 2014.
- [118] CRIMA Portfolio, "Is Bitcoin the next Bubble?", *Consumer Reports Money Adviser*, vol. 11, no. 4, p. 11, apr-2014.
- [119] D. Bradbury, "The problem with Bitcoin", *Computer Fraud & Security*, vol. 23, no. 11, pp. 5-8, 2013.
- [120] Elsevier B.V., "Massive Bitcoin thefts and seizures leave many users nervous and poorer", *Computer Fraud & Security*, vol. 23, no. 12, p. 1,3, 2013.
- [121] F. Y. Rashid, "How Thieves Steal Your Bitcoins", *PC Magazine Digital Edition*, pp. 17-20, apr-2014.
- [122] A. Phelps and A. Watt, "I shop Online - recreationally! Internet anonymity and Silk Road enabling drug use in Australia", *Digital Investigation*, vol. 11, no. 4, pp. 261-272, 2014.
- [123] M. VásquezLeiva, "Bitcoin : ¿Moneda o burbuja ?" *Revista Chilena de Economía y Sociedad*, vol. 8, no. 1-2, pp. 52-61, 2014.
- [124] M. Tilves, "Barcelona, primera ciudad española en tener cajero de Bitcoins", *Wsili-conWeek*, 2014, [en línea]. Consultado el 8 abril de 2015, disponible en: <http://goo.gl/iQwePS>

- [125] M. Tilves, "Bitcoin: Cronología de una moneda", *Wsilicon Week*, 2013, [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <http://www.siliconweek.es/cloud/bitcoin-cronologia-de-una-moneda-galeria-35533>
- [126] C. Evans-Pughe, A. Novikov and V. Vitaliev, "To bit or not to bit", *Engineering & Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 82-85, 2014.
- [127] "Bitcoin ATM en funcionamiento" *ElBitcoin.org*, 2011, [en línea]. Consultado el 8 de abril de 2015, disponible en: <http://elbitcoin.org/bitcoin-atm-en-funcionamiento/>
- [128] R. Jarvis, "Bitcoin ATMs come to USA", *USA Today*, p. 1, feb-2014.
- [129] Rosh, "Samsung se asocia con IBM para desarrollar app basada en la cadena de bloques", *ElBitcoin.org*, 2015, [en línea]. Consultado el 27 de febrero de 2015, disponible en: <http://elbitcoin.org/noticias-bitcoin-del-dia-14-abril-2015/>
- [130] Y. Bello Perez, "Interpol Creates Digital Currency to Study Crypto Crime" *coindesk.com*, 2015, [en línea]. Consultado el 23 de abril de 2015, disponible en: <http://www.coindesk.com/interpol-creates-digital-currency-study-crime>
- [131] D. Cordell, "Litecoin Association Takes Step Forward and Launches Litecoin.com", *Bitcoinist.net*, 2015, [en línea]. Consultado el 23 de abril de 2015, disponible en: <http://bitcoinist.net/litecoin-association-takes-step-forward-launches-litecoin-com/>
- [132] K. Hill, "Bitcoin's Incredible Year", *Forbes, United States. Internal Revenue Service*, p. 1, dec-2013.
- [133] T. Lloyd, "Cryptocurrency Bitcoin Still On Rocky Path", *Investors Business Daily*, p. 1, feb-2015.
- [134] L. Trautman, "Virtual Currencies; Bitcoin & What Now After Liberty Reserve, Silk Road, and Mt. Gox?", *Richmond Journal of Law & Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 1-108, 2007.
- [135] M. Kevin, "The other side of the Bitcoin", *Newsweek Global*, vol. 162, no. 12, pp. 1-4, mar-2014.
- [136] T. Moore, "The promise and perils of digital currencies", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 6, no. 3-4, pp. 147-149, dec-2013.
- [137] N. Yahanpath, "Virtual Money Betting on Bitcoin" *University of Auckland Business Review*, vol. 17, no. 1, pp. 3-43, 2014.
- [138] M. Van Alstyne, "Why Bitcoin Has Value", *Communications of the ACM*, vol. 57, no. 5, pp. 30-32, 2014.
- [139] P. Santhana, "The Pros and Cons of Bitcoins", *Baseline Magazine*, p. 1, Sep-2014.
- [140] "Bitcoin ATM Map", *CoinDesk*, [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible, [en línea]. Consultado el 24 de abril de 2015, disponible en: <http://www.coindesk.com/bitcoin-atm-map/>
- [141] K. Hill, "Why Are People So Excited About A Bitcoin ATM?", *Forbes, Internal Revenue Service*, oct-2013.
- [142] N. Plassaras, "Regulating Digital Currencies: Bringing Bitcoin within the Reach of the IMF", *Chicago Journal of International Law*, vol. 14, pp. 377-407, 2013.
- [143] J. Gómez-González and J. Parra-Polanía, "Bitcoin: something seems to be 'fundamentally' wrong", *Banco de la República*, pp. 1-9, 2014.
- [144] J. B. Turpin, "Bitcoin : The Economic Case for a Global, Virtual Currency Operating in an Unexplored Legal Framework", *Indiana Journal of Global Legal Studies*, vol. 21, no. 1, pp. 335-368, 2014.
- [145] M. Cusumano, "The Bitcoin ecosystem", *Communications of the ACM*, vol. 57, no. 10, pp. 22-24, 2014.
- [146] D. Kronenberg and D. Gwen, "Bitcoins in Bankruptcy-Trouble ahead for Investors and Bankruptcy Professionals?", *Pratt's Journal of Bankruptcy Law*, vol. 10, no. 2, pp. 11-121, 2014.

- [147] The Federal Reserve Bank of St. Louis: Central to America's Economy, "Bitcoin and Beyond", *Central Banker-Fall*, vol. 24, no. 1, pp. 5-7, 2014.
- [148] A. Ah Kun, "Bitcoin: the currency of the future?", *Chartered Accountants Journal*, vol. 93, no. 4, pp. 36-38, 2014.
- [149] E. Jacobs, "Bitcoin: A Bit Too Far?", *Journal of Internet Banking & Commerce (JIBC)*, vol. 16, no. 2, pp. 1-4, 2011.
- [150] A. Cofnas, "Trading bitcoin", *Futures: News, Analysis & Strategies for Futures, Options & Derivatives Traders*, vol. 43, no. 10, pp. 10-10, 2014.
- [151] A. Blundell-Wignall, "The Bitcoin Questio". *Currency versus Trust-less Transfer Technology*, no. 37. Paris, OECD iLibrary, 2014.
- [152] Congreso de los Diputados, Boletín Oficial de las Corte Generales: Proposiciones No de Ley-BOCG-10-D-592. España, 2015, p. 24.
- [153] A. General, Código Orgánico Monetario y Financiero, Libro I. Of. No. SAN-2014-1305. Distrito Metropolitano de Quito, Provincia de Pichincha, 2014, pp. 1-181.
- [154] "China Bans Financial Companies From Bitcoin Transaction" Bloomberg Business, dec-2013.
- [155] Banco de la República, "Comunicado Bitcoin", Banco Central de Colombia, Bogotá D.C, 01-apr-2014.
- [156] C. Viegas y J. G. Santamaría, "Bitcoin: Un desafío para la ejecución de políticas de la Banca Central. Algunas consideraciones jurídicas frente al creciente fenómeno de las llamadas 'criptomonedas'", Banco Central de la República de Argentina. Buenos Aires, Argentina, pp. 1-51, 2014.
- [157] K. Hill, "China Bites Into Bitcoin", *Forbes*, vol. 193, no. 1, pp. 43-43, jan-2014.
- [158] J. Lee, A. Long, M. McRae, J. Steiner and S. Gosnell Handler, "Bitcoin Basics: a Primer on Virtual Currencies", *Business Law International*, vol. 16, no. 1, pp. 21-46, 2015.
- [159] S. N. Navarro, "Un Mercado Financiero Floreciente : El del dinero virtual no Regulado", *Revista CESCO de Derecho de Consumo*, vol. 13, pp. 79-115, 2015.
- [160] C. Raibom and M. Sivitanides, "Accounting Issues Related to Bitcoins", *The Journal of Corporate Accounting & Finance*, pp. 25-34, 2015.
- [161] Bitcoin.org, "Conferencias y eventos", [en línea]. Consultado el 23 de abril de 2015, disponible en: <https://bitcoin.org/es/eventos>
- [162] Inside Bitcoins, "Upcoming Shows", [en línea]. Consultado el 23 de abril de 2015, disponible en: <http://insidebitcoins.com/upcoming-shows>
- [163] Bitcoin P2P e-cash paper, 2008, [en línea]. Consultado el 23 de abril de 2015, disponible en: <https://www.mail-archive.com/cryptography@metzdowd.com/msg099599.html>



Telecentros Comunitarios Manizales vistos por sus usuarios

Community Telecenters Manizales Seen by their Users

Julio César Meza Ramírez¹ Omar Antonio Vega²

Para citar este artículo: Meza, J.C. y Vega, O.A. (2015). Telecentros Comunitarios Manizales vistos por sus usuarios. *Redes de Ingeniería*, 6(1), 129-136.

Recibido: 01-junio-2015 / **Aprobado:** 05-septiembre-2015

Resumen

Se presenta un ejercicio de evaluación de los Telecentros Comunitarios de la ciudad de Manizales (Caldas, Colombia), con el fin de identificar la percepción que sobre ellos tienen sus usuarios. Para tal fin se encuestan a 597 usuarios que han cursado alguna de las capacitaciones ofrecidas por Manizales Vive Digital, que reflejan la alta aceptación del programa y su efecto positivo sobre el proceso de inclusión digital en la ciudad.

Palabras clave: Inclusión digital, sector TIC, telecentros comunitarios.

Abstract

The article presents an evaluation exercise of Community Telecenters Manizales (Caldas, Colombia), conducted to identify the perception of their users. For this purpose are surveyed 597 people who have attended any of the training offered by Manizales Vive Digital, which reflect the acceptance of the program and its positive effect on the process of digital inclusion in the city.

Keywords: Community telecenter, Digital inclusion, CTI sector

1. Tecnólogo en Sistemas informáticos, Universidad de Caldas; ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones, Universidad de Manizales; especialista en Gerencia Informática; director de proyectos Fundación Universitaria del Eje Cafetero FUNEC, Grupo de investigación 'Clúster'-Colombia. proyectos@funec.org, juliocesarmeza@ingenieros.com
2. Ingeniero Agrónomo, Universidad de Caldas; especialista en Informática y Computación, Universidad de Manizales; magíster en Orientación y Asesoría Educativa, Universidad Externado de Colombia y Universidad Católica de Manizales; magíster en Educación, Docencia, Universidad de Manizales; doctor en Ingeniería Informática: Sociedad de la Información y el Conocimiento, Universidad Pontificia de Salamanca-España. Profesor Titular, Director/editor revista Ventana Informática - Grupo de Investigación 'Sociedad de la Información y el Conocimiento'-Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales - Colombia - oavega@umanizales.edu.co, omarantonio.vega@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El mundo globalizado plantea escenarios cada vez más competitivos, debido a la facilidad de ejecutar tareas que apoyadas en las herramientas telemáticas se pueden desarrollar sin necesidad de estar presentes en algún lugar específico. Varias naciones se percataron de las oportunidades de crecimiento económico y social que genera el sector TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones); siendo un ejemplo claro de ello la India, que hoy es líder en la tercerización de servicios.

En esa misma línea, Colombia convierte el tema TIC, en el año 2010, en una política nacional, representada en el plan “Vive Digital” del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) [1]; lo que le permitió al gobierno colombiano ser reconocido en el entorno internacional como el que tiene las políticas en telecomunicaciones más innovadoras del mundo, obteniendo el premio GSMA en Barcelona en el año 2012 [2].

La Ley de TIC constituye el reconocimiento por parte del Estado de que la promoción del acceso, uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, el despliegue y uso eficiente de la infraestructura, el desarrollo de contenidos y aplicaciones, la protección a los usuarios, la formación de talento humano en estas tecnologías y su carácter transversal son pilares para la consolidación de las sociedades de la información y del conocimiento e impactan en el mejoramiento de la inclusión social y de la competitividad del país. [3]

Según un estudio realizado por la consultora independiente IDC [4], Colombia es el tercer país de América Latina más necesitado de profesionales en tecnologías de la información y las telecomunicaciones, después de México y Brasil; pues se considera que para el año 2015 necesitará 12403 profesionales en esta área, y que de no capacitar personas que asuman estas vacantes tendría un déficit del 33%.

Alineados con lo anterior, la Gobernación de Caldas y la Alcaldía de Manizales destacan el fortalecimiento del sector TIC en sus administraciones, mediante sus planes de desarrollo. Así, la Alcaldía de Manizales con su Plan de Desarrollo “Gobierno en la Calle” [5], fija estrategias para fortalecer las TIC en la ciudad, haciendo una apuesta importante por la biotecnología y reafirmando las oportunidades de desarrollo que ofrece este sector, admitiendo las necesidades de infraestructura, formación de talento humano y creación de empresas de base tecnológica, como factor al que le brindará el apoyo pertinente fortaleciendo las relaciones Universidad + Empresa + Estado.

“La meta es que Manizales sea el Silicon Valley nacional”, fue la consigna que dejó el presidente Santos el pasado 23 de abril del 2013, en la visita realizada a la ciudad, en compañía del MinTIC Diego Molano y la presencia de las autoridades regionales. En el marco de esta apuesta de ciudad se encuentra el Proyecto Manizales Vive Digital Regional.

Para mostrar lo expresado anteriormente, se mencionan las estrategias que involucran espacios físicos, inversión tecnológica y planes a futuro:

- La zona franca andina, espacio que se construye en el sector industrial de Maltería para las empresas con un foco de negocio en los contenidos digitales.
- ViveLab, centro de creación e investigación aplicada al desarrollo de soluciones con el uso de las TIC, ubicado en la Universidad de Caldas.
- Centro de Bioinformática y Biología Computacional (BIOS), ubicado en el Ecoparque los Yarumos, con el propósito de ofrecer servicios de alta tecnología computacional para responder a las demandas de procesamiento de datos, simulación, generación de productos en los sectores de la salud, el ambiente y las TIC.

Dentro de las acciones de generación de rentabilidad social se encuentran los Telecentros Comunitarios, espacios equipados distribuidos estratégicamente en diferentes sectores del municipio, para facilitar e incentivar el acceso y uso de las TIC por parte de toda la población, especialmente los segmentos menos favorecidos. En ellos, además de propiciar el acceso a las TIC, se realizan eventos de capacitación con miras a lograr su uso adecuado y el inicio-fortalecimiento de emprendimientos con mediación tecnológica, así como el mejoramiento del desempeño escolar y laboral de sus usuarios, pues con ellos se “busca el acercamiento de las comunidades a la red mundial de datos y a las comunicaciones telefónicas con el resto del mundo, mediante la instalación, operación y mantenimiento de telecentros en localidades que tienen carencia en estas tecnologías y en lugares en los que se ha evidenciado la necesidad del servicio” [6].

2. MÉTODOS

El trabajo ejecutado desde el sector académico, correspondiente a una investigación cuantitativa, se realiza en la ciudad de Manizales (capital del departamento de Caldas, Colombia), en los 39 telecentros involucrados (37 de la Alcaldía de Manizales y 2 de People Contact), en el proyecto Manizales Vive Digital Regional, con un total de 597 personas (cuya caracterización se resume en la figura 1), fruto de determinar el tamaño muestral a partir de las 7751 participantes en las capacitaciones ofrecidas por el proyecto durante el año 2014, con nivel de confianza de 0,05 y error de la muestra poblacional de 3,85%, utilizando la ecuación:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \times \sigma_p^2 \times N}{N \times \varepsilon^2 + Z_{\alpha/2}^2 \times \sigma_p^2}$$

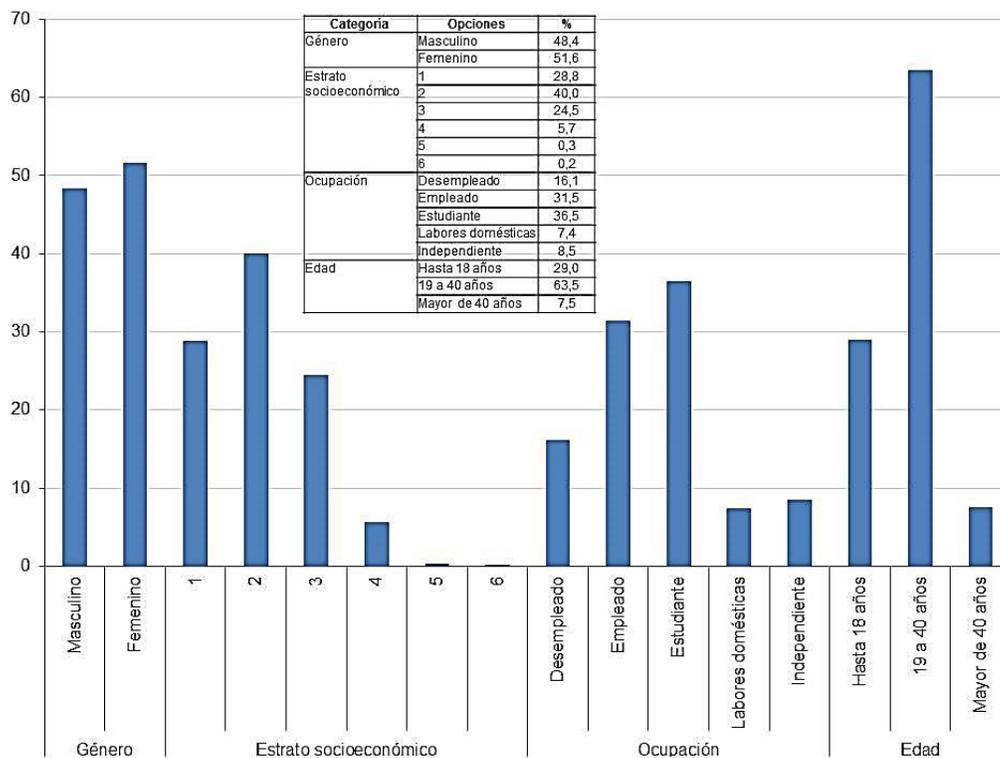


Figura 1. Caracterización de la muestra.

El instrumento de encuesta, además de la solicitud de datos para la debida caracterización, consta de 30 preguntas cerradas con dos opciones de respuesta (Si/No), orientadas a los siguientes aspectos: ambiente e infraestructura del telecentro, servicios ofrecidos por el telecentro, compromiso de la comunidad con el telecentro, participación ciudadana a partir del telecentro, actividades generales realizadas en el telecentro y actividades específicas realizadas desde el telecentro.

Para la aplicación de la encuesta se solicita al coordinador de sala invitar a la comunidad que frecuenta el telecentro, para estar en él en una fecha y hora específica, donde se indica la razón de la convocatoria y el procedimiento para diligenciar el instrumento, el cual se distribuye aleatoriamente. La organización de los datos obtenidos se efectúa mediante una matriz, construida en Microsoft Excel, que sirve para el análisis y la construcción de figuras.

3. RESULTADOS

En este acápite se consideran las respuestas positivas dadas por los usuarios encuestados a las preguntas formuladas. A fin de facilitar su presentación se condensan en seis grupos:

- Ambiente e infraestructura del telecentro: en este aspecto, como se observa en la figura 2, el ítem con menor aceptación corresponde a las condiciones de navegación en internet (79,4%), mientras los demás se ubican entre 80 y 90%, lo que muestra que los telecentros están brindando un ambiente y una atención aceptados ampliamente por los usuario.
- Servicios ofrecidos por el telecentro: la figura 3 deja ver que los telecentros han permitido a un poco más de la mitad de los usuarios iniciarse en el uso de las computadoras. Igualmente, la asesoría para interactuar con la plataforma de e-gobierno debe mejorarse, con el fin de incrementar tal opción. Por su parte, el 84,3% aceptan la asesoría recibida en el telecentro para realizar sus actividades y consideran que las tutorías ofrecidas tienen variedad temática, lo que incentiva el uso de las instalaciones.
- Compromiso de la comunidad con el telecentro: excepto en lo referente al uso del servicio de fotocopia y escáner ofrecido por el telecentro, en la figura 4 se detecta que el telecentro ha logrado una interesante compenetración con la comunidad, haciendo que se convierta en un espacio importante en la cotidianidad comunitaria.
- Participación ciudadana a partir del telecentro: que las personas se apropien de la tecnología, la ciencia y la información es considerada esencial para los cambios individuales y colectivos con miras al mejoramiento de la calidad de vida, no solo en lo económico, sino también en lo político, académico y cultural. La figura 5 muestra que los telecentros comunitarios están favoreciendo dichos procesos.
- Actividades generales realizadas en el telecentro: a pesar de las diversas posibilidades que los telecentros ofrecen, se ha notado que los usuarios básicamente lo utilizan para comunicarse con otras personas mediante opciones de web 2.0, actividades de entretenimiento (generalmente relacionados con música o videos) y actividades escolares realizadas por los estudiantes y sus padres (figura 6). Una actividad que aún no se ha generalizado, a pesar de la amplia oferta existente, es la realización de cursos en línea.
- Actividades específicas realizadas en el telecentro: es importante resaltar que entre el 40 y el 70% de los encuestados, aseguran que los telecentros les están permitiendo la realización de actividades específicas relacionadas con las TIC como la economía digital y el ambiente laboral (el teletrabajo, emprendimiento y producción de software), como se muestra en la figura 7.

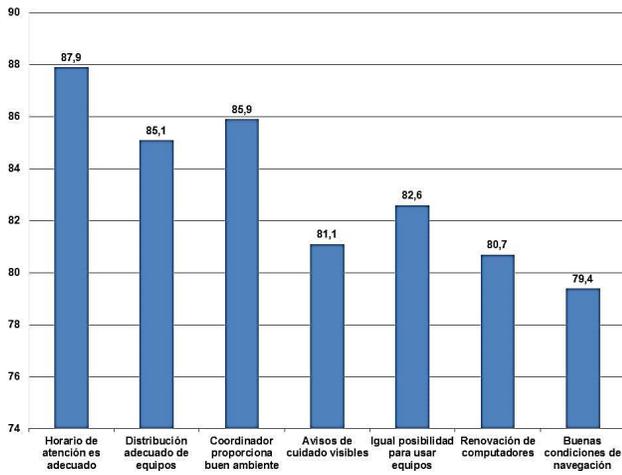


Figura 2. Ambiente e infraestructura de telecentros.

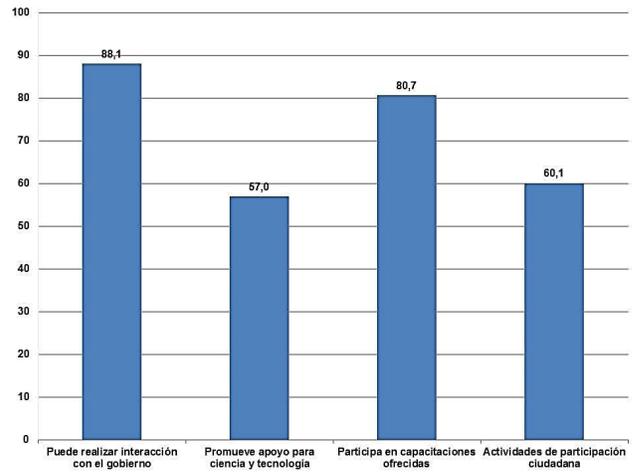


Figura 5. Participación ciudadana a partir del telecentro.

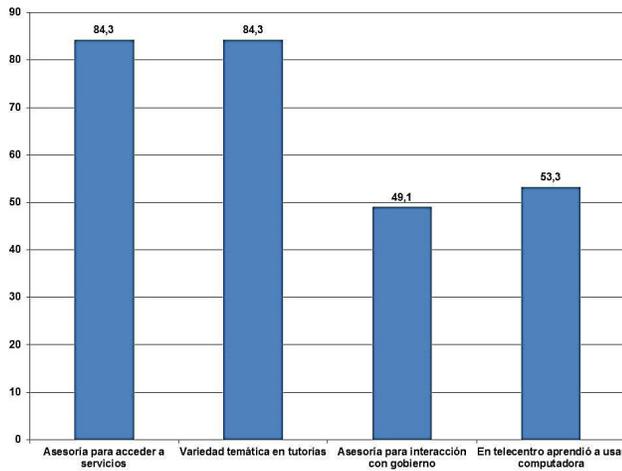


Figura 3. Servicios de los telecentros.

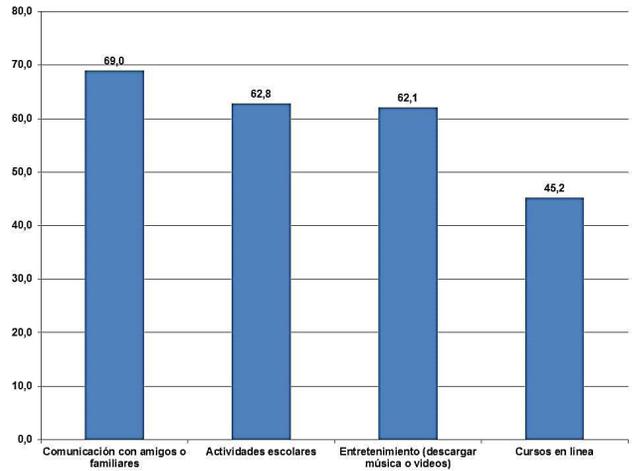


Figura 6. Actividades generales realizadas en el telecentro.

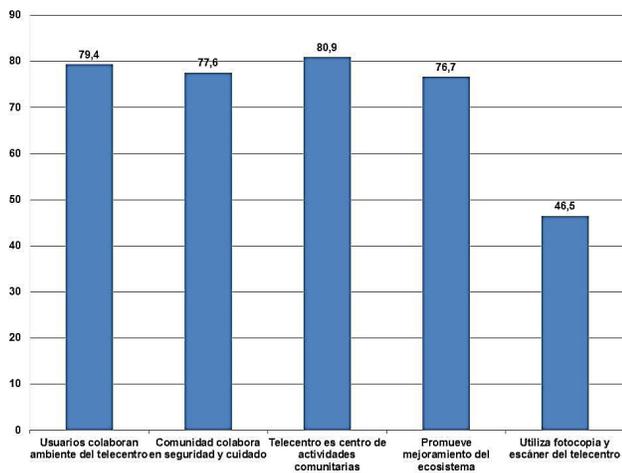


Figura 4. Compromiso de la comunidad con el telecentro.

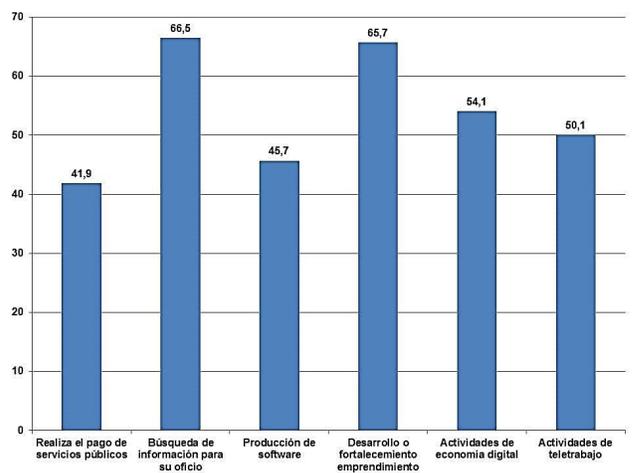


Figura 7. Actividades específicas realizadas en el telecentro.

4. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los usuarios de los Telecentros Comunitarios han encontrado en ellos la posibilidad de acceder a la tecnología, así como recibir asesoría y capacitación para usarla adecuadamente, al punto de hacerse palpable el acercamiento a la tercera fase del proceso de inclusión digital: “La inclusión digital es un proceso continuo que debe superar los estadios de acceso a las TIC, uso de las TIC y apropiación de las TIC, con el fin de lograr la transformación individual y colectiva hacia el mejoramiento de su calidad de vida” [7].

No puede desconocerse la actividad de los usuarios en cuanto a participación ciudadana, llevando a cambios paulatinos en el comportamiento político de la sociedad, considerando que

conviene no perder de vista que la participación en línea (heterogénea en sí misma) no está desvinculada de las prácticas y contextos fuera de línea, y va de la mano de estrategias de acceso a la información, de transparencia y de rendición de cuentas. Conviene, además, seguir apostando al potencial transformador de las TIC en la perspectiva de construir procesos equitativos e inclusivos de toma de decisiones. [8]

La incorporación de usuarios a la economía digital es de resaltar, pues

el comercio electrónico puede contribuir decisivamente a que las economías en desarrollo obtengan mayores beneficios del comercio. A diferencia de lo que se necesita para gestionar un negocio en un edificio físico, el comercio electrónico no requiere inversiones del minorista en espacio de almacenamiento, seguros o infraestructura. La única condición previa es contar con una vitrina adecuadamente diseñada en la Web para llegar a los clientes.[9]

En este caso la labor le corresponde a los telecentros, que pueden facilitar el teletrabajo

una forma de organización laboral, que consiste en el desempeño de actividades remuneradas o prestación de servicios a terceros utilizando como soporte las tecnologías de la información y la comunicación –TIC- para el contacto entre el trabajador y la empresa, sin requerirse la presencia física del trabajador en un sitio específico de trabajo. [10]

Lo cual puede eliminar grandes recorridos para llegar a la sede de la empresa y permitir el ingreso laboral de personas con limitaciones o discapacidades.

Es clara entonces la función de los telecentros, en lo que atañe a brindar la opción a las comunidades, especialmente de estratos socioeconómicos bajos (1 a 3 en el caso colombiano), para acceder a las TIC -quizás como única posibilidad-, pero buscando una situación trascendente: que las TIC se conviertan en medio y herramienta para las personas de comunidades menos favorecidas, de manera que puedan iniciar o fortalecer iniciativas de diversa índole dirigidas al mejoramiento intelectual, económico y social, usándolas con racionalidad, creatividad y responsabilidad. Lo anterior exige un manejo transparente del telecentro, la capacitación continua de sus funcionarios, la calidad del servicio ofrecido y la apropiación del telecentro por parte de la comunidad beneficiaria, con el propósito de tener una verdadera incidencia en la transformación comunitaria.

5. CONCLUSIONES

La apuesta de las administraciones departamental y municipal, en la misma orientación de la política nacional, que se ha hecho para facilitar el proceso de acercamiento de las TIC a la comunidad de Manizales, donde los telecentros son una

manifestación de ella, ha tenido una aceptabilidad alta por parte de sus usuarios.

Los telecentros demuestran su importancia al brindar la oportunidad de acceso a las TIC, y su familiarización, especialmente por parte de comunidades menos favorecidas, pero su relevancia se da cuando se convierten en el fundamento de la transformación de la calidad de vida de tales comunidades, a partir de la apropiación de las TIC, que conlleva a participación ciudadana, desarrollo de nuevas alternativas económicas, iniciativas comunitarias de transformación, procesos académicos, etc. En otras palabras, los telecentros se constituyen en redes de ferrocarril sobre las cuales las personas, de manera individual o colectiva, movilizan vagones de diferente índole.

La evaluación desde el sector académico de la prestación de un servicio, en este caso de iniciativa pública, permite tener una mirada diferente del fenómeno, así como servir para proponer posibilidades de mejoramiento a sus ejecutores. En el presente trabajo se concentran especialmente en la recomendación para promocionar actividades que tengan mayor incidencia en el campo laboral y económico de los usuarios, así como propiciar el aprovechamiento de la amplia oferta educativa en línea.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración permanente de Manizales Vive Digital y de People Contact, como ejecutor del programa, en este proceso evaluativo.

7. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones, MinTIC, 2015, *Logros de Vive Digital 2010-2012*. Bogotá D.C., MinTIC [en línea], Consultado el 20 de mayo de 2015, disponible en: <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-4265.html>
- [2] Revista Dinero, “Colombia ganó premio mundial de políticas de telecomunicaciones”, *Revista Dinero-Tecnología*, 2012, 28 de febrero [en línea], Consultado el 18 de mayo de 2015, disponible en: <http://www.dinero.com/negocios/tecnologia/articulo/colombia-gano-premio-mundial-politicas-telecomunicaciones/145534>
- [3] M. R. Guerra De La Espriella y J. D. Oviedo Arango, *De las telecomunicaciones a las TIC: Ley de TIC de Colombia [L1341/0]*, Bogotá, D.C., 2011, abril [en línea], Consultado el 20 de mayo de 2015, disponible en: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/1/43371/LC-BOG-L.22.pdf>
- [4] Colombia. INN-EFE, “IDC: Colombia necesita 12.403 profesionales TIC para 2015”, *América Economía*, 2013, 27 de junio [en línea], Consultado el 18 de mayo de 2015, disponible en: <http://tecno.americaeconomia.com/articulos/idc-colombia-necesita-12403-profesionales-tic-para-2015>
- [5] J. E. Rojas, *Plan de desarrollo de Manizales 2012-2015, Gobierno en la calle*. Manizales, Alcaldía de Manizales, 2012.
- [6] D.L. Martínez Gutiérrez y A.I. Padilla Quintero, *Prácticas de comunicación a partir del uso de las tecnologías de la información – TIC: Por parte de los adultos mayores capacitados en telecentro de la casa día del adulto mayor en el municipio de Chía, Cundinamarca avalado por el Ministerio de Comunicación y Telecomunicaciones*, Santiago de Cali, Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Comunicación Social, 2013, 101 p.
- [7] O.A. Vega, *Inclusión digital de comunidades rurales colombianas*. Madrid, Universidad Pontificia de Salamanca, Facultad de Informática, Doctorado en Ingeniería Informática: Sociedad de la Información y el Conocimiento, 2014, 158 p.

- [8] V. Betancourt, "Participación ciudadana en la era de la información". *Habilitando la apertura: el futuro de la sociedad de la información en América Latina y el Caribe*. B. Girard y F. Perini (Eds.). Montevideo, Fundación Comúnica, 2013, pp. 75-78.
- [9] OMS, *El comercio electrónico en los países en desarrollo: Oportunidades y retos para las pequeñas y medianas empresas*. Ginebra, Organización Mundial del Comercio, 2013, 12 p.
- [10] J. D. Vélez Villegas, "El Teletrabajo: una forma de inclusión de las personas en situación de discapacidad al mundo laboral y la gestión de sus riesgos laborales", *Revista CES Derecho*, Vol. 4, No. 1, p. 29-45, ene-jun, 2013.

