

# LÁMPSAKOS

No. 9

## Presentación

**Editorial: Encuentro Nacional de Investigación Funlam 2013**  
*Pbro. José Wilmar Sánchez-Duque*

**El presente y futuro de los ingenieros**  
*Miguel Ángel Zorrilla-Gascón*

**Ciencias humanas y emergencia de la edad digital**  
*Hervé Fischer*

**Aplicación del modelo ANFIS para predicción de series de tiempo**  
*Gabriel Jaime Correa-Henao*  
*Lina María Montoya-Suárez*

**La gestión de proyectos software, una prospectiva en la aplicación de estrategias en la ingeniería colaborativa**  
*José Luis Jurado-Muñoz*  
*César Jesús Pardo-Calvache*

**Redes sociales: aproximación a un estado del arte**  
*Juan Carlos Monsalve-Gómez*  
*Luz Amparo Granada-de-Espinal*

**Coeficientes de presión intersticial en el aparato de corte simple**  
*Rubén Ángel Galindo-Aires*

**Uso de los conceptos básicos de nxt-g 2.0 en la construcción y desarrollo de un robot seguidor de línea**  
*Jonathan Alexander Soto-Montoya*  
*Julio César Gómez-Naranjo*  
*Ingrid-Durley Torres-Pardo*



FUNDACIÓN  
UNIVERSITARIA



Facultad de  
Ingenierías



©Fundación Universitaria Luis Amigó

**Lámpsakos**

N°9, enero-junio de 2013

ISSN: 2145-4086

**Rector**

Pbro. José Wilmar Sánchez Duque

**Vicerrectora de Investigaciones**

Isabel Cristina Puerta Lopera

**Decano Facultad de Ingenierías**

Jorge Alberto Hernández Cerón

**Jefe Departamento de Fondo Editorial**

Carolina Orrego Moscoso

**Diagramación**

Arbey David Zuluaga Yarce

**Terminación**

Arbey David Zuluaga Yarce

**Corrector de estilo**

Sonia Natalia Cogollo Ospina

**Traductores:**

Luis Arturo Chaparro Neira

Luca Catullo Mc Intyre

**Contacto editorial**

Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A #67 B 90. Medellín, Antioquia, Colombia. Tel: (574) 448 76 66 (Ext. 9711. Departamento de Fondo Editorial). [www.funlam.edu.co](http://www.funlam.edu.co) - [fondoeditorial@funlam.edu.co](mailto:fondoeditorial@funlam.edu.co)

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó. Hecho en Colombia.

Financiación realizada por la Fundación Universitaria Luis Amigó.

# LÁMPSAKOS

## Director de la revista

Gabriel Jaime Correa Henao, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia

## Comité científico

Daniel Borrajo Millán, Ph.D. Universidad Carlos III. Madrid, España.

Amit Chaudhry, Ph.D. Panjab University. Chandigarh, India.

Óscar Sapena Vercher, Ph.D. Universidad Politécnica de Valencia, España.

Giner Alor Hernández, Ph.D. Instituto Tecnológico de Orizaba. Veracruz, México.

Rubén Ángel Galindo Aires, Ph.D. Universidad Politécnica de Madrid, España.

Julián Alberto Patiño Murillo, Ph.D(c). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Néstor Raúl Londoño, MSc. DEC Consultoría. Medellín, Colombia.

Denis Derivet Thaureaux, MSc. Universidad de Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba.

Darío Ernesto Jaén Navarro, Esp. Universidad de San Buenaventura. Medellín, Colombia.

Valerio Adrián Anacleto, Lic. Epidata Consulting. Buenos Aires, Argentina.

## Comité Editorial

Marcelo Becker, Ph.D. Universidade de São Paulo, Brasil.

Ulises Juárez Martínez, Ph.D. Instituto Técnico de Orizaba. Veracruz, México.

Alexander García Castro, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Aldo Pardo García, Ph.D. Universidad de Pamplona, Colombia.

Francisco Javier Aguirre, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Mauricio López Bonilla, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

## Comité de Árbitros

Bizuayehu Abebe Worke, PhD. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

Santiago Medina Hurtado, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

Jorge Alberto Hernández Cerón, Ph.D. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Henry Alonso Colorado Lopera, Ph.D. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Jorge Mario Gaviria Hincapié, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Walter Arboleda Mazo, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Olber Eduardo Arango Tobón, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Gabriel Jaime Posada Hernández, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Mauricio López Bonilla, MSc. Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia.

Darío Enrique Soto, MSc. Tecnológico de Antioquia. Medellín, Colombia.

## Edición

Fundación Universitaria Luis Amigó.

## Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens. Fundación Universitaria Luis Amigó Medellín, Antioquia, Colombia.

## Para sus contribuciones

[lampsakos@funlam.edu.co](mailto:lampsakos@funlam.edu.co)

<http://www.funlam.edu.co/lampsakos>

Facultad de Ingenierías. Fundación Universitaria Luis Amigó. Transversal 51A # 67B - 90. Medellín, Antioquia, Colombia.

ISSN: 2145-4086

No. 9, enero-junio de 2013

## Fundada en 2009

*Lámpsakos* es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica o tecnológica de las áreas de las ingenierías. Su periodicidad es semestral con alcance nacional e internacional. Está destinada a estudiantes, investigadores, profesionales y personas interesadas en estos temas.

Los autores son moral y legalmente responsables del contenido de sus artículos, así como del respeto a los derechos de autor. Por lo tanto, éstos no comprometen en ningún sentido a la Fundación Universitaria Luis Amigó.

La reproducción de los artículos se regirá conforme a lo descrito en <http://creativecommons.org/>

## CONTENIDO

### Presentación

<b>Editorial. Encuentro Nacional de Investigación Funlam 2013</b> .....	5
<i>Pbro. José Wilmar Sánchez-Duque</i>	

### Cartas al editor

<b>El presente y futuro de los ingenieros</b> .....	7
<i>Miguel Ángel Zorrilla-Gascón</i>	

<b>Ciencias humanas y emergencia de la edad digital</b> .....	9
<i>Hervé Fischer</i>	

### Artículos de investigación

<b>Aplicación del modelo ANFIS para predicción de series de tiempo</b> .....	12
<i>Gabriel Jaime Correa-Henao</i>	
<i>Lina María Montoya-Suárez</i>	

<b>La gestión de proyectos software, una perspectiva en la aplicación de estrategias en la ingeniería colaborativa</b> .....	26
<i>José Luis Jurado-Muñoz</i>	
<i>César Jesús Pardo-Calvache</i>	

<b>Redes sociales: aproximación a un estado del arte</b> .....	34
<i>Juan Carlos Monsalve-Gómez</i>	
<i>Luz Amparo Granada-de-Espinal</i>	

<b>Coefficientes de presión intersticial en el aparato de corte simple</b> .....	42
<i>Rubén Ángel Galindo-Aires</i>	

<b>Uso de los conceptos básicos de nxt-g 2.0 en la construcción y desarrollo de un robot seguidor de línea</b> .....	51
<i>Jonathan Alexander Soto-Montoya</i>	
<i>Julio César Gómez-Naranjo</i>	
<i>Ingrid-Durley Torres-Pardo</i>	

## CONTENTS

### Presentation

<b>Editorial. National Meeting On Research, Funlam 2013</b> .....	5
<i>Pbtr. José Wilmar Sánchez-Duque</i>	

### Cartas al editor

<b>Present and future for engineers</b> .....	7
<i>Miguel Ángel Zorrilla-Gascón</i>	

<b>Human sciences and emergency on digital age</b> .....	9
<i>Hervé Fischer</i>	

### Artículos de investigación

<b>ANFIS application for time series forecasting</b> .....	12
<i>Gabriel Jaime Correa-Henao</i>	
<i>Lina María Montoya-Suárez</i>	

<b>Software projects management, a prospective in the implementation of strategies for collaborative engineering</b> .....	26
<i>José Luis Jurado-Muñoz</i>	
<i>César Jesús Pardo-Calvache</i>	

<b>Social networks: approach to a literature review</b> .....	34
<i>Juan Carlos Monsalve-Gómez</i>	
<i>Luz Amparo Granada-de-Espinal</i>	

<b>Pore pressure coefficients for simple shear test</b> .....	42
<i>Rubén Ángel Galindo-Aires</i>	

<b>Using the basics concepts nxt-g 2.0 In the construction and development of a line follower robot</b> .....	51
<i>Jonathan Alexander Soto Montoya</i>	
<i>Julio César Gómez-Naranjo</i>	
<i>Ingrid-Durley Torres-Pardo</i>	

## PRESENTACIÓN

Es un honor para mí asumir el cargo como Director y Jefe Editor de la revista *Lámpsakos*, adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó, a la cual se puede acceder a través de la dirección: <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>. La revista se divulga a través de la plataforma OJS (Online Journal System); el propósito de esta actualización radica en la necesidad de brindar mayor efectividad en el proceso de envío, revisión, edición y divulgación de artículos científicos de alta calidad. Adicionalmente, se pretende facilitar la divulgación de los artículos ante toda la comunidad científica en América Latina y el mundo entero. La nueva interfaz facilita enormemente la interacción con los lectores y la navegación en todos los números publicados durante estos años de vigencia. Asimismo, la revista apuesta por su continuidad y constante actualización en las Bases de Datos Bibliográficas: Actualidad Iberoamericana, e-revist@s, Latindex, Dialnet, DOAJ, BDColy, así como la inclusión en otros índices que reflejen el impacto por citaciones SCielo, Scopus e ISI.

La revista *Lámpsakos* está reconocida por el Servicio Nacional de Indexación y Homologación de Colciencias - Publindex como Revista Tipo C. Nuestro reto consistirá en mejorar nuestro índice de impacto y obtener un mejor reconocimiento entre las diferentes universidades y grupos de investigación, a quienes invitamos a utilizar nuestros servicios para difundir los productos de sus investigaciones.

Para esta edición N° 9 de *Lámpsakos*, se ha contado con la participación de autores y revisores en el ámbito iberoamericano, enfatizando el desarrollo de artículos de reflexión analítica y artículos de revisión con evidente calidad científica, así como cartas al editor que reflejan el pensamiento holístico de ingenieros en el diagnóstico de problemáticas en la relación sociedad-tecnología.

La presente edición refleja la confianza que han depositado los investigadores de nuestra facultad y de otras instituciones, al seleccionarla como vehículo para la difusión de los resultados de sus trabajos de investigación y reflexiones científicas.

A través de este espacio, deseamos manifestar nuestra intención de acoger las participaciones y colaboraciones de todos los miembros de la comunidad científica interesados en divulgar sus trabajos a través de nuestra revista. Extendemos la invitación a participar y disfrutar de este espacio construido para transmitir y compartir nuestros avances.

**GABRIEL JAIME CORREA HENAO**

Editor revista *Lámpsakos*

Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia

# EDITORIAL

## ENCUENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN FUNLAM 2013

### NATIONAL MEETING ON RESEARCH, FUNLAM 2013

#### **Pbro. José Wilmar Sánchez-Duque**

*Rector General,  
Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia  
rectoria@funlam.edu.co*

Cordial y fraterno saludo de bienvenida a todos los asistentes a este Encuentro Nacional de Investigación, así como mis mejores deseos para que todo lo tratado durante estos días redunde en un impacto cada vez más visible de la transformación de nuestra actividad investigativa Institucional, particularmente en lo que toca a la generación de nuevo conocimiento y a la pertinencia de éste en la transformación de la dinámica social, particularmente en pro del desarrollo social con justicia y equidad.

El conocimiento generado a través de los procesos investigativos, académicos y científicos ha dado saltos cualitativos y cuantitativos generando cada vez un mayor progreso y desarrollo humano y social, mejorando cada vez más la calidad de vida, pero como siempre a lo largo de la historia humana, el mismo ha estado reservado a unas élites y minorías privilegiadas, es lo que llamaríamos una ciencia al servicio de los intereses económicos e ideológicos, pero también hoy, por medio de los indicadores que miden la generación de nuevo conocimiento podríamos quedarnos en una ciencia al servicio del reconocimiento y del prestigio institucionales, sin ningún impacto o incidencia en la vida social de las comunidades.

El tema central en el presente año de este encuentro nacional de investigadores: transformación de la dinámica investigativa, debe ponernos en la línea crítica de que la investigación es mucho más que los simples indicadores de producción científica evidenciados en cifras estadísticas, artículos científicos, libros, y otras actividades que dan cuenta de los resultados de inves-

tigación; estos son los medios a través de los cuales damos cuenta del conocimiento generado en los procesos de investigación.

El verdadero impacto de nuestra actividad investigativa se evidencia en el conocimiento generado y en la forma como éste es llevado a la transformación curricular de nuestros programas y a la transformación social por medio de la extensión universitaria.

Es este conocimiento, fruto de la actividad investigativa, el que nos debe poner en contacto con la realidad social, pero también con las comunidades científicas y académicas nacionales internacionales, siendo este conocimiento el hilo con el cual entretejemos relaciones para el desarrollo integral de nuestras comunidades y la apertura del conocimiento y su aplicación en la superación de la pobreza y de las inequidades sociales.

Durante cerca de 30 años, la Fundación universitaria Luis Amigó ha tenido claro su compromiso con la formación integral y la realización del ser humano; particularmente, en estos últimos cuatro años la investigación ha venido experimentando grandes transformaciones, la calidad y el futuro de la Funlam pasan necesariamente por la transformación de la dinámica investigativa. Ustedes forman parte sustancial de esta historia, a todos mis agradecimientos por sus aportes y mi invitación a seguir haciendo de la investigación no simplemente una tarea, sino ante todo una pasión por la cual nos jugamos el presente y el futuro de nuestra vida, de la institución y de la construcción y desarrollo de un nuevo país.

## CARTAS AL EDITOR

## EL PRESENTE Y FUTURO DE LOS INGENIEROS

### PRESENT AND FUTURE FOR ENGINEERS

**Miguel Ángel Zorrilla-Gascón**

*Urban Green Projects S.L.*

*Valencia, España*

*miguelangelzorrillagascon@gmail.com*

(Recibido el 17-08-2012. Aprobado el 20-12-2012)

Dice un refrán español que “sabe el diablo más por viejo que por diablo”. No es que sea muy viejo, sólo acabo de cumplir 40 años, sin embargo, en mis 15 años de experiencia profesional como ingeniero, he tenido la suerte de adquirir mucha y variada experiencia en este campo.

En el año 1997 cuando empecé a trabajar, aun sin estar en posesión del título universitario, España empezaba a salir de la recesión que había supuesto la organización de los Juegos Olímpicos de Barcelona y de la Exposición Universal de 1992. Ambos acontecimientos habían supuesto, como en la mayoría de las ocasiones en que ocurren estos acontecimientos sobresalientes, una ralentización de la economía del país en los años posteriores.

A finales de los 90, como decía antes, España empezaba a dar señales de recuperación y la mayoría de mis compañeros de promoción y yo encontramos trabajo enseguida, algunas empresas venían a contratarnos incluso antes de acabar los estudios universitarios.

Los primeros años del nuevo siglo trajeron un impulso al país en cuanto a una modernización de las re-

des de comunicación. Se acondicionaron las carreteras y se hicieron muchas vías nuevas, se empezó a construir la red del tren de alta velocidad (AVE) y los puertos marítimos principales tuvieron un crecimiento mayúsculo en sus instalaciones, debido al auge en el tráfico comercial marítimo.

Junto a todo ello, se produjo el fenómeno extraordinario del urbanismo en el que España apostó todas sus cartas en favor de este sector, no sólo para construir vivienda para la primera residencia, sino también para la segunda y para el turismo.

Ante este escaparate, los ingenieros, en especial los civiles como es mi caso, tuvimos un recorrido paralelo en cuanto a cantidad de trabajo, tipología diversa del mismo y evidentemente a nuestras retribuciones. Fueron años gloriosos para la profesión, y la experiencia que adquirimos la mayoría de nosotros hizo que en pocos años asumiéramos conocimientos que en otros tiempos nos hubieran costado muchos más años para adquirir.

Sin embargo, como también dice otro refrán “todo lo que sube, acaba bajando”; la profesión no bajó, se desplomó. Conducidos por la crisis estadounidense

y marcados por nuestro tipo de economía elegido, “el ladrillo”, el frenazo fue tal que todos los ocupantes del vehículo dimos con nuestros rostros en el cristal delantero del auto.

Sin entrar en causas más profundas y consecuencias personales, sí que me centraré en las consecuencias profesionales que hemos tenido que adoptar los ingenieros españoles y, lo que es más importante, en las enseñanzas que esta época nos ha dado de cara a un futuro.

Una gran mayoría de los ingenieros españoles hemos tenido que salir a competir al extranjero, puesto que en España la oferta de profesionales superaba la demanda. Y cuando uno compite, evidentemente se ven sus puntos fuertes y también los débiles.

Contábamos con la ventaja de la experiencia adquirida por la cantidad y calidad de las obras ejecutadas en España, por la tecnología moderna aplicada, sin embargo, en la mayoría de los casos carecíamos de especialización. Con la oferta de trabajo muy superior a la demanda, todos los ingenieros sabíamos hacer un poquito de todo, y afrontábamos grandes retos apoyándonos en otros profesionales para hacer frente al proyecto con éxito. No obstante, la celeridad de resultados hacía que no se pudieran masticar los resultados y analizar las conclusiones que cada uno de los trabajos siempre traen consigo.

Esta falta de especialización junto con una economía deficitaria de dinero para invertir en el extranjero, han provocado que el ingeniero español “normal” no haya tenido éxito respecto a cualquier otro del mundo.

Hoy en día, la tasa de desempleo del ingeniero español es mucho más elevada de lo deseado y ha provocado que muchos de nosotros nos hayamos tenido que especializar a edades “avanzadas” o reinventar o simplemente cambiar de actividad profesional.

En mi caso, tengo que decir que la fortuna hizo que viera ese desarrollo y posterior periodo de decadencia desde varios focos, desde mi etapa como trabajador de una empresa constructora importante, pasan-

do por disponer de mi propia empresa de ingeniería y finalizando como jefe de departamento en una alcaldía. Ello, evidentemente, me supuso a nivel profesional y personal una riqueza de conocimientos y de experiencia que he intentado disponer en el mejor de los caminos.

A finales de la primera década del presente siglo, creé junto con otras tres empresas una mercantil nueva para operar en el extranjero. Cada una de las empresas dispone de una especialización diferente; en mi caso, en la ingeniería de carreteras, otra en la del ciclo del agua, otra en la de la tecnología y una última especializada en el área de eficiencia energética. Bajo el nombre de Urba Green Projects S. L. ([www.urbagreensp.com](http://www.urbagreensp.com)), hemos realizado trabajos en varios países: Qatar, Argelia, Costa de Marfil, Rumanía y Colombia. Los resultados todavía no son lo suficientemente buenos para poder implantarnos en algún país en concreto, pero sí nos ha hecho adquirir experiencia en el sector a nivel mundial. Aparte de esto, a nivel personal, he optado por formarme en el ámbito del *coaching* y próximamente voy a dar el paso de ejercer también a nivel profesional en este campo. Estoy especializado en el campo del *coaching* vocacional (encontrar la verdadera vocación de cada uno), en el *coaching* deportivo (superarte continuamente en la práctica del deporte) y en el *coaching* vital (desarrollarte personalmente en tu vida). Esta es una faceta del coaching que me apasiona y que indirectamente la había puesto en práctica tanto en mi vida personal como profesional.

Como conclusión y enseñanza de todo este artículo, tendría que reseñar que entiendo desde mi punto de vista que el presente y el futuro del ingeniero pasa por especializarse en un campo concreto y, a partir de ahí, desarrollarse en el mundo, debido a que la globalización ha hecho y hará que el puesto de trabajo más apropiado para cada uno no necesariamente esté al lado de su hogar.

A nivel personal, recomendaría que cada uno buscara su verdadera vocación y que, una vez hallada, se dedicara a ella con toda su fe y su pasión. Nunca es tarde para ser feliz.

## CIENCIAS HUMANAS Y EMERGENCIA DE LA EDAD DIGITAL

### HUMAN SCIENCES AND EMERGENCY ON DIGITAL AGE

**Hervé Fischer, Ph.D**

Federación Internacional de las Asociaciones de Multimedia<sup>1</sup>

Montréal, Canadá

<http://www.hervefischer.net>, [hfisher@hervefischer.net](mailto:hfisher@hervefischer.net)

(Recibido el 01-08-2012. Aprobado el 20-12-2012)

Quiero subrayar la importancia de una mejor comprensión teórica del choque digital en el campo de las ciencias humanas, por lo tanto, deseo enfatizar sobre algunos conceptos que considero claves para entender nuestra época:

1. Estamos pasando de la era del fuego a *la era digital*, o sea, de la era de la energía, que incluye el fuego, el viento, el agua, la electricidad y la energía nuclear, a la era de la información. Pasamos así del binomio energía-materia a un nuevo paradigma epistemológico e instrumental, el de una codificación binaria y de una programación algorítmica con las cuales pretendemos reinterpretar el universo e instrumentarlo con una nueva potencia humana superior a la de las leyes habituales de la naturaleza. El hombre ha escogido marcar con su sello nuestra evolución y hablamos aquí de lo antropoceno. McLuhan fue el último gran pensador de la era del fuego, de los medios de difusión eléctricos; pero no podría ser el nuevo gurú de la era digital. La energía destruye la información. Lo digital la crea y la difunde.
2. Debemos rendir homenaje a Darwin por haber afirmado, en contra de los creacionistas, que

el hombre no desciende del cielo mas sí de los árboles y por haber inventado la ley de selección y de adaptación natural para explicar biológicamente nuestra evolución. No obstante, esta ley no basta para explicar las sucesivas mutaciones de la especie humana. Proponemos pues considerar la “*teoría de la divergencia*”. La especie humana evolucionó muy rápido, menos por adaptación que por proyectos, rupturas y divergencias, incluso a riesgo de su supervivencia. Esto se evidencia en la política, en el desarrollo científico, en las artes. Estas divergencias, que aceleraron nuestra evolución, siempre surgieron de creadores, inventores, de líderes que primero fueron marginados, rebeldes, en ruptura con las ideas comúnmente recibidas, pero que a la larga se impusieron ante la mayoría.

3. *La invención de la informática* constituye un singular ejemplo de esta teoría de la divergencia, en etapas graduales: la invención de la escritura ideográfica; la ruptura con lo analógico y la invención del alfabeto fonético, de veinte a treinta símbolos abstractos, que propician una fuerte combinación conceptual; la invención por Gutenberg de los caracteres móviles de

<sup>1</sup> La Federación Internacional de Multimedia es una ONG acreditada por las Naciones Unidas con estatus consultativo para el Programa ECOSOC de desarrollo económico y social.

impresión, que permitió la difusión progresiva en masas de los libros y del pensamiento crítico individual; seguido de la reducción radical de este alfabeto fonético a un código binario, que nos ofrece hoy en día la convergencia universal en multimedia de todos los lenguajes —no sólo del texto, sino de los sonidos, las imágenes, los movimientos: la imprenta del siglo XXI. Debemos subrayar aquí que la digitalización constituye una ruptura por difusión planetaria inmediata, la programación de los algoritmos, el control de los hombres y de las ideas, para bien o para mal, con una potencia tecno-científica, social y cultural con la cual ni siquiera nos atrevimos a soñar, a no ser como cosa de magia. Pero es un error repetir, como acostumbramos a hacerlo, que esto significa el fin de Gutenberg y el regreso a una oralidad en multimedia, que podría también dar al traste con los esfuerzos costosamente alcanzados por la razón conceptual y crítica, y el consiguiente advenimiento de un nuevo oscurantismo. El código binario es el desenlace genial del alfabeto fonético de veintiséis signos, por su reducción a dos: *on* y *off*, 1 ó 2.

La divergencia más evidente del espíritu humano con respecto a la naturaleza es la invención de la ética. La teoría de Darwin no sabría explicar el surgimiento de la ética. Por el contrario, según Darwin, es la ley del más fuerte, la de la jungla, la que predomina en nuestra evolución, mientras que la ética nos obliga a

socorrer a los débiles, a los moribundos, a salvar a los enfermos, a ayudar a reproducirse artificialmente a aquellos a quienes la naturaleza no se los permite, a alargar la vida de aquellos que ya no son productivos, a facilitar la vida de los minusválidos, a pesar del alto costo social, cuando la selección natural darwiniana debería eliminarlos. Mas hoy, gracias a las redes digitales de comunicación, sabemos cada vez más de cómo los derechos universales del hombre son pisoteados en todo el mundo. Sabemos que la humanidad es un escándalo permanente, intolerable: explotación, violencia, injusticia, y genocidios. Son los hipervínculos digitales los que refuerzan esta nueva exigencia de solidaridad humana y de indignación que sentimos. Paradójicamente, es la trivial tecnología binaria de la informática la que crea y refuerza esta exigencia ética planetaria que sentimos. Ciertamente, estamos fascinados por las virtudes digitales de la “realidad aumentada”. Pero el progreso humano es más incierto que el progreso tecnológico. Y lo que llamo entonces la “conciencia aumentada” es mucho más importante y decisiva para nuestro futuro que la realidad aumentada. La conciencia aumentada es el fundamento del hiperhumanismo que yo defiendo: hiper por más hipervínculos y más humanismo. Y es en este sentido que yo hablo entonces del digital alternativo, no el del comercio, de la especulación financiera y de los video-juegos de los países ricos, sino el del progreso humano para el desarrollo de los países del Sur: educación, prevención, salud, comunicación, diversidad cultural e identitaria.

# ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

## APLICACIÓN DEL MODELO ANFIS PARA PREDICCIÓN DE SERIES DE TIEMPO

### APPLICATION OF THE ANFIS FOR TIME SERIES PREDICTION

**Gabriel Jaime Correa-Henao, Ph.D**

*Grupo de Investigación SISCO,  
Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia  
gabriel.correa@amigo.edu.co*

**Lina María Montoya-Suárez, MSc**

*Grupo de Investigación SISCO,  
Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia  
linamoon84@hotmail.com*

(Recibido el 11-11-2012. Aprobado el 20-12-2012)

**Resumen.** El artículo presenta la descripción y posterior aplicación de una metodología de Redes Neuro-Difusas aplicadas al problema de predicción de series de tiempo en el mercado de capitales de corto plazo. Estas aplicaciones proporcionan criterios de referencia para inversión especulativa en la bolsa de valores de Colombia, en la medida que complementan la realización de análisis técnicos y fundamentales. La aplicación presentada en este artículo se fundamenta en una herramienta basada en el modelo ANFIS (Adaptive Neuro-Based Fuzzy Inference System) la cual está disponible en lenguaje MATLAB, con utilidad en el pronóstico de series de tiempo. La herramienta aquí empleada se apoya en métodos heurísticos que combinan redes neuronales y lógica difusa, en las cuales se definen la cantidad y tipo de funciones de pertenencia de las variables de entrada. El decisor puede confiar en la efectividad de la predicción gracias al método de cálculo de los errores residuales. También se realizan comparaciones con otras medidas como el error medio cuadrático y las desviaciones estándar del pronóstico, que son directamente calculados desde los modelos propuestos.

**Palabras clave:** Pronósticos, Series de Tiempo, Incertidumbre, Redes ANFIS, Redes Neuro-difusas, Análisis Bursátil

**Abstract.** The article presents the description and subsequent application of a methodology of networking Neuro-Difuse applied to the problem of time series forecast in short-term capital market. These applications provide benchmarks for speculative investment in the stock exchange in Colombia, to the extent that complement technical and fundamental analysis. The application presented in this article is based on a tool based on the ANFIS (Adaptive Neuro-Based Fuzzy Inference System) model which is available in MATLAB language, useful in time-series forecasting. The tool used is based on heuristic methods that combine neural networks and fuzzy logic, which define the amount and type of membership of the input variables functions. The decision-maker can rely on the effectiveness of the prediction due to the method of calculation of the residual error. Comparisons are also made with other measures such as the mean square error and the standard deviations of the prognosis, which are directly calculated from the proposed models.

**Keywords:** Forecasting, time Series, uncertainty, networks ANFIS, Neuro-fuzzy networks, stock market analysis

## 1. INTRODUCCIÓN

El mercado accionario colombiano constituye la motivación para abordar la realización del presente artículo, específicamente relacionado con el pronóstico del precio de acciones en el corto plazo. Bajo la suposición de que los eventos futuros contienen información y características del comportamiento pasado, el objetivo de estos pronósticos es identificar patrones relacionados con ocurrencias previas y así, proporcionar una idea del comportamiento futuro del precio [1], [2]. Es evidente que para obtener ganancias en el mercado bursátil se requiere comprar una acción a un precio dado y venderla cuando haya alcanzado un precio superior; por tanto, es importante en esta clase de inversión predecir con altas probabilidades de certeza que una acción subirá de precio en un periodo de tiempo razonable para entonces venderla y ganar utilidades [2], [3].

Una de las principales dificultades en el pronóstico de precios de acciones es la gran cantidad de elementos y variables que parecen influir sobre el comportamiento del mercado, pero ante el supuesto de que la información del pasado proporciona elementos de pronóstico, es posible identificar tendencias futuras en las series de tiempo [4], [5].

Esta situación constituye una motivación importante para presentar los resultados de esta investigación, en la que se utilizan las funciones Anfis y Fuzzy de Matlab [6], [7], [8], a través de una aplicación donde los pronósticos son usados principalmente, para hacer insinuaciones del comportamiento futuro de un sistema y apoyar los procesos de planeación y toma de decisiones.

La primera parte de este artículo enuncia las principales estrategias de análisis bursátiles y enuncia los índices sobre los que se realiza una toma de decisiones por parte de agentes especulativos, con especial énfasis en la Bolsa de Valores de Colombia.

La segunda parte del artículo proporciona una descripción de la metodología ANFIS para pronósticos de series de tiempo y provee una reflexión específica acerca de la conveniencia de la utilización de los modelos ANFIS para la realización de predicciones. Lo anterior incluye una descripción de los diferentes indicadores que permiten razonar sobre la efectividad de los pronósticos.

La tercera parte del artículo presenta una aplicación de la metodología en el caso específico de la Bolsa de Valores de Colombia, a través de la herramienta Anfis y Fuzzy de Matlab [6], [7], [8] con lo que se proporcionan soportes para utilizar redes neurodifusas en la tarea de pronósticos.

Algunas conclusiones y futuros trabajos relacionados con esta área de investigación se presentan al final del artículo.

## 2. ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS BURSÁTIL

A lo largo del tiempo, uno de los principales debates en el análisis del mercado financiero ha sido la relativa validez de dos de los métodos de análisis más usados: fundamental y técnico [2], [9], [10]. Pero aunque existe un punto claro de diferenciación entre ambas teorías, porque el análisis fundamental estudia las causas de los movimientos del mercado, mientras que el técnico estudia los efectos de esos movimientos, se ha sugerido que la combinación de ambos enfoques constituye una buena estrategia de análisis bursátil [11].

Sin embargo, el análisis de acciones con propósitos de inversión es una actividad difícil y ningún método, por complejo o completo que sea, elimina el riesgo inherente a esta clase de inversiones [12]. Si el inversionista tuviera certeza sobre las circunstancias que existirán en un tiempo dado, la preparación de un pronóstico sería trivial, pero dado que la incertidumbre es un elemento que siempre va a estar presente en situaciones de pronósticos, los investigadores desarrollan diferentes metodologías que permitan reducir dicho riesgo, algunas basadas en matemáticas o estadísticas, y otras con teorías más complejas que involucran modernos sistemas computacionales como redes neuronales, lógica difusa, sistemas neurodifusos, programación genética y evolutiva y la teoría del caos, herramientas enmarcadas en el paradigma de la Inteligencia Artificial [5], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19].

Como se indicó inicialmente, existen muchos métodos que buscan dar información que oriente la difícil decisión de qué acción comprar o vender y cuándo hacerlo [5]. Los dos acercamientos principales para el estudio del mercado bursátil se explican en las subsecciones siguientes.

## 2.1 Análisis fundamental

El método consiste en conocer y evaluar la situación financiera de los mercados, tanto en el entorno macroeconómico como en las condiciones microeconómicas de cada empresa cotizante en la bolsa de valores [10].

El uso de este método involucra factores de diversa índole que pueden afectar potencialmente la oferta y demanda de acciones. Algunos son: [20], [21], [22]

- *Económicos*: PIB, inflación, tasa cambiaria de pesos a dólares, tasas de interés, circulante, precio internacional del petróleo, rendimiento de otras alternativas de inversión [12].
- *Políticos*: regulación gubernamental [12].
- *Psicológicos*: ánimo de los inversionistas, incertidumbre [12].
- *Características de la empresa*: análisis de estados financieros, utilidades, índices [12].
- *Análisis estratégico de la empresa*: productos, accionistas, planes de expansión, competencia, tecnología [12], [23].

Dentro de las limitaciones del Análisis fundamental se destacan el retraso en la publicación de los balances y cuentas de resultados (trimestre vencido según la legislación colombiana) de las sociedades que cotizan en bolsa, lo que constituye una importante limitación toda vez que los estados financieros son la base para el análisis fundamental [9], [24].

## 2.2 Análisis técnico

Los análisis técnicos estudian directamente los movimientos que se producen los mercados de acciones, observando exclusivamente la evolución de las cotizaciones a lo largo de un periodo de tiempo, a fin de predecir futuras tendencias. Este tipo de análisis tuvo sus orígenes a finales de 1880 y fue introducido por Charles H. Dow [12], [25].

El análisis técnico hace, por tanto, una interpretación de los precios históricos de las acciones como elemento predictivo de su comportamiento futuro. Su argumento es la formación de los precios mediante interacciones y relaciones entre la oferta y demanda (comportamiento humano), las cuales pueden ser descompuestas en patrones que identifican las tendencias y con ello el comportamiento futuro [21], [26]. El análisis técnico se basa en varios postula-

dos y se puede apoyar en el uso de herramientas de análisis como los gráficos de volumen y el manejo de indicadores [11], [22], [24]:

- Sostener que los fenómenos de la bolsa reflejan el sentimiento y la actitud de grupos humanos. Se sabe que el comportamiento individual es impredecible, pero que puede predecirse cuando forma parte de un grupo [21].
- Establecer que entre el mediano y el largo plazo, los movimientos de los precios de una emisora y de los índices bursátiles no son aleatorios o desordenados, sino que tienen una estructura con una lógica propia, de tal manera que forman patrones repetitivos que permiten entenderlos y predecir lo que vendrá [5], [11].
- Postular que no se tiene que conocer la causa de un fenómeno del mercado para poder entenderlo y que por tanto, puede predecirse lo que con mayor probabilidad resultará en el corto, mediano o largo plazo, conociendo solamente los precios históricos de la acción [10], [11].

El elemento básico de análisis es la curva de cotizaciones [25], que permite conocer la evolución de un título a través del tiempo y, mediante la interpretación de las líneas y figuras que se forman, identificar tendencias y patrones del precio [27]. Una de las grandes ventajas del análisis técnico es que se adapta prácticamente a cualquier entorno operativo y dimensión de tiempo, pero también se ha cuestionado la validez de sus postulados [28].

Con base en el análisis técnico, en Colombia una buena parte de los analistas bursátiles aplican con entusiasmo el uso de reglas técnicas, como los soportes y resistencia, líneas de tendencia, medias móviles, velas japonesas, convergencia y divergencia entre medias móviles y otros [5], [12]. Puede accederse a una explicación detallada de estos indicadores en Marín y Muñoz [20]. Dichos indicadores suelen mencionarse en algunos sitios locales de información financiera, así como en informes sobre referencias de comisionistas y analistas bursátiles [1], [29].

## 2.3 Caso colombiano

En Colombia es fácil identificar dos periodos de evolución del mercado bursátil [20]. El primero de ellos, que va desde 1950 hasta la segunda mitad de los ochenta, se caracteriza por un continuo deterioro de

los indicadores utilizados para su medición. En el segundo, que coincide con la década de los 90 se ha registrado una mejoría, no obstante, este cambio en la tendencia ha sido insuficiente para modificar el relativo atraso en el contexto internacional [23].

Los años noventa se caracterizaron por un gran dinamismo de las transacciones bursátiles en los denominados “mercados emergentes”. Este dinamismo se acompañó de un intenso proceso de reformas económicas y de un incremento sustancial de los flujos de capital provenientes de los países industrializados [20], [26]. Colombia no fue la excepción a la regla, pero debido a su concentración, su tamaño, su falta de liquidez y el interés de los inversionistas en unas pocas acciones, mantiene todavía un notable rezago frente a otros países en desarrollo [30], que ha venido creciendo significativamente en el periodo 2001-2013 con un repunte del IGBC en más del 1400% desde su creación en julio de 2001 [29]. Sin embargo, en los últimos años, los operadores del mercado accionario han preferido fundamentar su toma de decisiones a partir del análisis de los otros dos indicadores de la bolsa de valores, correspondientes al índice COLCAP y el índice COL-20 [29], los cuales reflejan mayor calidad en el comportamiento de las cotizaciones. Lo anterior se ha dado por el gran peso de acciones del sector energético y de *commodities*, cuyas empresas no cotizaban en bolsa al momento de la fundación de la BVC en el año 2001 [28].

En el medio colombiano, el análisis fundamental es la técnica más conocida y utilizada para entender la bolsa y también el juicio de analistas juega un papel determinante [22], [31], por cuya razón, el campo de investigación de herramientas técnicas para el análisis y pronóstico del mercado accionario constituye una inmensa motivación para la aplicación de herramientas y metodologías avanzadas en el pronóstico de series de tiempo [2].

### 3. SISTEMA DE INFERENCIA NEURONAL ADAPTATIVO (ANFIS)

ANFIS es una red adaptativa que representa la implementación del modelo de inferencia difuso Takagi-Sugeno [17], cuya estructuración ha sido propuesta por Jang [15] y ha sido ampliamente trabajada por la comunidad de científicos de los sistemas difusos y los sistemas neuronales [4], [13], [14], [20], [30], [32], [33], [34], [35], [36], [37].

La filosofía de ANFIS consiste en predecir el valor en el tiempo  $x=t+P$  de la serie desde el punto  $x=t$ , a partir de unas entradas que resultan del mapeo de puntos en la serie apartados o rezagados en un espacio de tiempo  $\Delta$ , empleando una red neuronal construida con una arquitectura determinada arbitrariamente (por ejemplo, 4 entradas y 2 funciones tipo campana cada una) [15], [38]. Los resultados de estas predicciones se pueden comparar con otros modelos de redes neuronales y/o otras metodologías estadísticas regresivas como ARMA o ARIMA [39], [40].

#### 3.1. Redes adaptativas

Las redes adaptativas corresponden a aquellas estructuras de varias capas compuestas de un conjunto de nodos conectados a través de enlaces, donde cada nodo es una unidad de procesamiento que desempeña una función sobre la señal recibida para generar otra de salida [14], [20], [41]. Cada enlace indica la dirección del flujo de la señal desde un nodo a otro, estos son adaptativos (con función parametrizada) cuando además de la señal o señales recibidas, dependen de un conjunto de parámetros o valores asociados para generar la salida, o nodos no-adaptativos (sencillos) cuando solo necesitan las entradas [26], [39].

Esta estructura proporciona las siguientes ventajas:

- Se utilizan algunas metodologías y procedimientos típicos de las redes neuronales para el ajuste de sus parámetros, es decir, se configuran los parámetros de las funciones de pertenencia y consecuencia mediante estrategias de entrenamiento [27], [36].
- Se pueden construir modelos a partir de pares de datos entrada/salida, reduciendo considerablemente el tiempo de modelamiento y los requerimientos de expertos [38].

A diferencia de las redes neuronales artificiales, la red adaptativa no tiene pesos sinápticos y presenta la ventaja de tomar el esquema y arquitectura de un Sistema de Inferencia Difusa para poder aplicar metodologías conocidas de entrenamiento y ajuste de sus parámetros [30], [37].

#### 3.2. Descripción de ANFIS

ANFIS es considerada una red adaptativa y, como se mencionó, es la adaptación del sistema de inferencia difuso Takagi-Sugeno [17], [38]. La figura 1 representa una arquitectura ANFIS de dos entradas, cada una

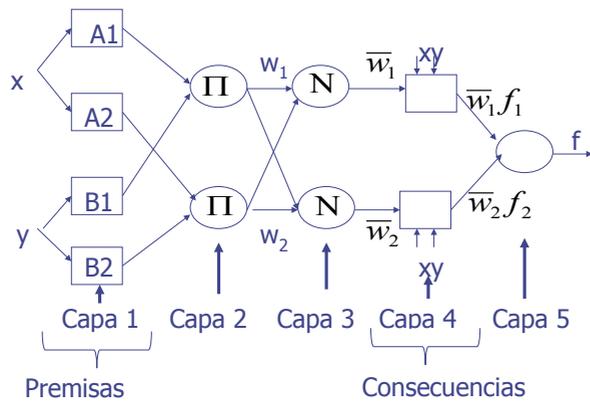


Fig. 1. Arquitectura modelo ANFIS

con dos funciones de pertenencia conformando en total cuatro reglas difusas, además, el esquema de partición del espacio de entrada [4], [15].

Una ventaja de usar las redes ANFIS radica en que se pueden construir modelos a partir de pares de datos entrada/salida, reduciendo considerablemente el tiempo de modelamiento y los requerimientos de los conocimientos de expertos. En el caso de dos entradas ( $x, y$ ), ANFIS tiene predefinida la siguiente topología, donde se denota la salida del nodo  $i$  en la capa 1 [15] según se presenta en (1).

**Capa 1:** Calcula los grados de pertenencia para la entrada  $x$  al nodo  $i$  como [15]:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \tag{1}$$

Donde  $x$  es la entrada y  $\mu_{A_i}(x)$  es la salida que representa la función de pertenencia de la entrada a la variable lingüística  $A_i$  [38]. Usualmente se usa la función de pertenencia campana, cuya formulación matemática es [42]:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left( \frac{x - c_i}{a_i} \right)^{b_i}} \tag{2}$$

En (2),  $a_p, b_p, c_i$  son parámetros de la función y son conocidos como los parámetros de *premisa*. La figura 2 proporciona una ilustración sobre la naturaleza de la difuminación de entradas, empleando la formulación (2). La representación de los conjuntos difusos mediante funciones de pertenencia de los modelos que tienen como entradas el valor de la serie de tiempo, que más adelante se aplicará a los precios de la bol-

sa de valores. Dichos conjuntos se configuran como variables con dos funciones de pertenencia (dos conjuntos difusos) etiquetados como precio *bajo* y precio *alto*. También es posible configurar las variables con tres conjuntos difusos como precio *bajo*, *medio* y *alto*.

Es importante aclarar que en el campo de las aplicaciones de los sistemas de redes neuronales, resulta importante la transformación y manipulación bien sea algebraica o estadística de los datos de entrada. Este enfoque de preprocesamiento de datos incluye la transformación y normalización como los métodos más conocidos [43]. Pero en el caso de los Sistemas de Inferencia Difusos, este procedimiento es opcional ya que como característica de las funciones de pertenencia, estas permiten utilizar datos convencionales o concretos y operar en el esquema planteado de difuminación en la Capa 1 de ANFIS [44], [45].

**Capa 2:** Los nodos en esta capa son no-adaptivos. En esta capa se generan los pesos de disparo. Es posible calcularlos como la relación entre las señales de entrada a este nodo con [15], [38]:

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \tag{3}$$

En la figura 1, cada nodo está etiquetado con  $\Pi$ , indicando que puede escogerse una T-Norma para modelar el operador lógico “&” [17], [46], que permitirá procesar los datos en las capas 3 y 4.

**Capa 3:** Los nodos en esta capa son no-adaptativos y generan los pesos normalizados  $N$  [15], [46]:

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum w_i}, \tag{4}$$

**Capa 4:** Sus nodos son adaptativos, cuya salida es el producto del nivel de disparo normalizado y la combinación lineal de las entradas [15], [38]:

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \tag{5}$$

Donde  $p_p, q_p, r_i$  son los parámetros *consecuencia*. Para este caso, en el sistema de inferencia difuso tipo Takagi-Sugeno con dos entradas ( $x, y$ ), las reglas que se generan, son del tipo:

$$\text{Si } x = A_i \ \& \ y = B_i, \text{ entonces } f_i = p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i$$

**Capa 5:** Con un único nodo no-adaptativo que calcula la salida total del sistema [15], [20]:

$$O_1^5 = f(x) = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i} \quad (6)$$

De este modo se ha descrito la metodología de aplicación de una Red Neuronal Artificial (RNA) cuya funcionalidad es equivalente a la de un Sistema de Inferencia Difuso, con lo cual pueden aplicársele todos los algoritmos de entrenamiento propios de las RNA tradicionales [47].

### 3.2.1 Selección de las variables de entrada a las capas de entrenamiento.

Debido a la existencia de algunas dificultades relacionadas con la determinación del mejor modelo de ajuste (puesto que en algunas etapas del modelamiento suelen recurrir al método de ensayo y error), se propone utilizar una búsqueda en la fase de determinación de entradas y características de los conjuntos difusos en la metodología ANFIS [20].

Las entradas  $x$  e  $y$  que se muestran en la figura 1 se consideran como un conjunto de entradas candidatas. Las mismas se distribuyen en un mapeo de  $D$  puntos de la serie de tiempo espaciados  $\Delta$  para predecir el valor futuro  $Z_{t+\Delta}$  [38]:

$$[Z_{t-(D-1)\Delta}, Z_{t-(D-2)\Delta}, \dots, Z_{t-\Delta}, Z_t] \rightarrow Z_{t+\Delta} \quad (7)$$

A partir de las entradas de esta matriz se tiene que del formato anterior con  $n$  datos, resultan  $n-D \times \Delta$  nuevos datos. Así, al aplicar (7) se tiene el nuevo formato de los datos, en forma matricial para el caso de pronósticos a corto plazo. Debe considerarse un conjunto de *entradas candidatas*, en este caso, determinadas a partir del método estándar [15], [38], el cual consiste en crear un mapeo de  $D$  puntos de la serie de tiempo espaciados  $\Delta$  para predecir el valor futuro  $Z_{t+\Delta}$ . Por ejemplo, para 1 día ( $\Delta=1$ ) o para 10 días ( $\Delta=10$ ) definiendo  $D=4$ , como el *número deseado de entradas candidatas* [20], esto es:

$$\text{Pronóstico a 1 día} \left[ \begin{array}{cccc} Z_{t-3} & Z_{t-2} & Z_{t-1} & Z_t \rightarrow Z_{t+0} \\ \hline Z_1 & Z_1 & Z_1 & Z_3 \mapsto Z_4 \\ Z_2 & Z_2 & Z_2 & Z_3 \mapsto Z_4 \\ Z_3 & Z_3 & Z_3 & Z_3 \mapsto Z_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{n-3} & Z_{n-2} & Z_{n-1} & Z_{n-0} \mapsto Z_n \end{array} \right] \quad (8)$$

$$\text{Pronóstico a 10 días} \left[ \begin{array}{cccc} Z_{t-3} & Z_{t-2} & Z_{t-1} & Z_t \rightarrow Z_{t+1} \\ \hline Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 \mapsto Z_5 \\ Z_2 & Z_3 & Z_4 & Z_5 \mapsto Z_6 \\ Z_3 & Z_4 & Z_5 & Z_6 \mapsto Z_7 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{n-4} & Z_{n-3} & Z_{n-2} & Z_{n-1} \mapsto Z_n \end{array} \right] \quad (9)$$

Cada fila en el ejemplo de formulación (8) y de la formulación (9) representa un dato de la serie de tiempo, donde el último elemento de la fila es el valor de salida deseado. Cada columna es considerada como el conjunto de datos de una variable, en este caso  $Z_{t-3}$ ,  $Z_{t-2}$ ,  $Z_{t-1}$  ó  $Z_t$ , con variable salida  $Z_{t+1}$  en la última columna.

Una vez determinada la cantidad de entradas candidatas y su respectivo conjunto de datos, es importante identificar cuáles son las más relevantes y remover aquellas que dependan de otras haciendo el modelo más conciso, reduciendo también el tiempo para la construcción del sistema, especialmente en lo referente al tiempo de entrenamiento de la red neuronal [38].

### 3.2.2 Validación de los pronósticos mediante estadísticos de ajuste y errores.

Como se ha explicado, la metodología ANFIS involucra un análisis previo de la serie, que consiste en adaptar el modelo de capas, ajustar los parámetros de entrenamiento y la configuración de las entradas para entrenamiento de la red neuro-difusa [46]. Para efectos prácticos, se sugiere tomar aproximadamente el 80% de los datos para ajustar el entrenamiento de las neuronas en las capas 3, 4, 5 y el restante 20% para validar el modelo de pronóstico [20], [26]. Esto se hace con el fin de generar modelos confiables desde el punto de vista del ajuste del modelo en un trabajo de validación.

El análisis descriptivo de una serie de tiempo comprende la estimación de los estadísticos básicos de la serie y el análisis en el gráfico de  $Z_t$  vs.  $t$ . En la predicción del mercado de acciones la forma determinística de las series de tiempo se ven alteradas por una componente aleatoria y no muestra valores atípicos ni ninguna componente estacional, es decir que no presenta patrones que se repitan [33].

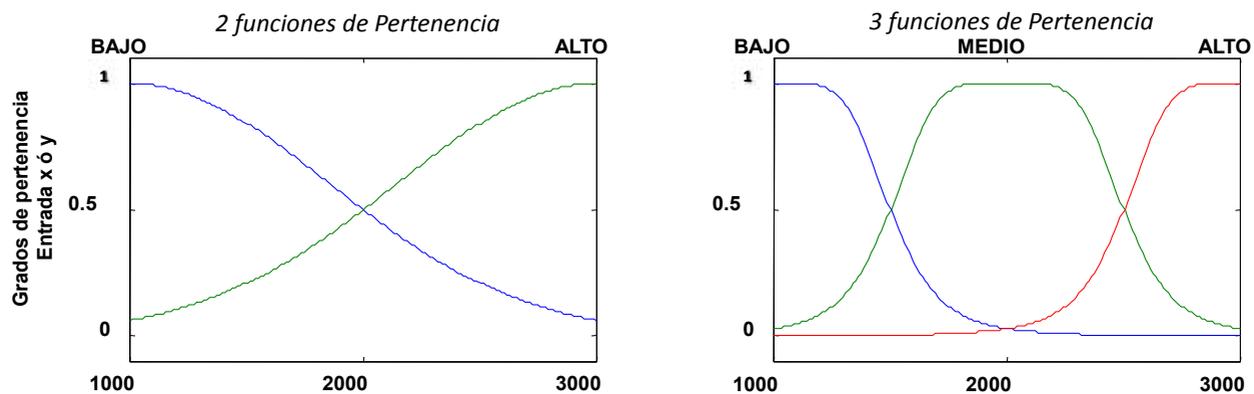


Fig. 2. Difuminación de entradas en la capa 1 con función tipo campana

Es conveniente medir la capacidad que tiene ANFIS para explicar el comportamiento de la serie de tiempo y así, tener una perspectiva de la calidad de los pronósticos que puede generar cada modelo [48]. Con este fin comparativo, se emplean estadísticos de ajuste, que al medir qué tan bien se ajustan las observaciones a la relación funcional, actúan como medidas de error [20]. Los estadísticos que se calculan son [6], [33], [49]:

- *RMSE*, raíz del error cuadrático medio del pronóstico.
- *s*, desviación estándar de los errores.

La metodología ANFIS también sugiere examinar los *residuales*, es decir, la diferencia entre los valores estimados y los reales de la serie, con los cuales se elaboran algunos estadísticos que permiten comparar la calidad de los pronósticos generados por el modelo [15], [33], [38], [49]. Para verificar si los residuales son ruido blanco se analiza la varianza de los errores, la cual puede considerarse constante y con una distribución aleatoria [9], [44]. Si se satisface que los residuos son realmente ruido blanco el modelo es apropiado; de lo contrario, debe considerarse otro modelo e iniciar nuevamente el proceso [20], [33].

#### 4. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Los modelos descritos se han implementado en lenguaje MATLAB, utilizando algunos comandos de la *toolbox* de sistemas de inferencia con lógica difusa [8] y las funciones de entrenamiento para sistemas ANFIS y Takagi-Sugeno [6], [7]. La ejecución del algoritmo se realiza en un ordenador personal, con versión Matlab 7.2® y cuyo hardware corresponde a un procesador Intel Core Duo de 2.33 GHz, y 2GB de

memoria RAM. Para la evaluación de los modelos se implementó una función en lenguaje MATLAB, conocida con el nombre de "pronóstico".

#### 4.1 Configuración básica de la herramienta

El procedimiento toma aproximadamente 6 segundos para generar 16 reglas difusas tipo TS especificadas en la ecuación (5), compuestas por 64 parámetros (incluyendo 48 parámetros lineales y 16 no lineales). En esta función se escribe entre paréntesis el número de días que se desea conocer la rentabilidad de una serie de tiempo. ANFIS es muy útil para calcular rentabilidades en el corto plazo (entre 1 y 15 días). Para facilitarle el proceso al decisor, el modelo ANFIS, se ha pre-ajustado con un modelo de pronóstico de 4 particiones difusas para los parámetros de entrada de la serie de tiempo, así:

- Particiones difusas en la Capa 1 = 3. La *difuminación* de la entrada se realiza como precio alto, medio, bajo, según la ecuación (1). La figura 2 proporciona un ejemplo de tal representación conceptual de la información en el sistema, donde la entrada es la variable precio.
- Tipo de Funciones de Pertenencia = Campana. Según la ecuación (2), de acuerdo al ejemplo de la figura 2.
- Número de entradas candidatas = 4. Según las ecuaciones (7) y (8).
- A partir del ensayo y error, se encontró que esta combinación garantiza resultados ciertos, con menor tiempo de procesamiento computacional, y también es empleada en procedimientos de pronóstico similares [1], [20]. No obstante, la función programada con las herra

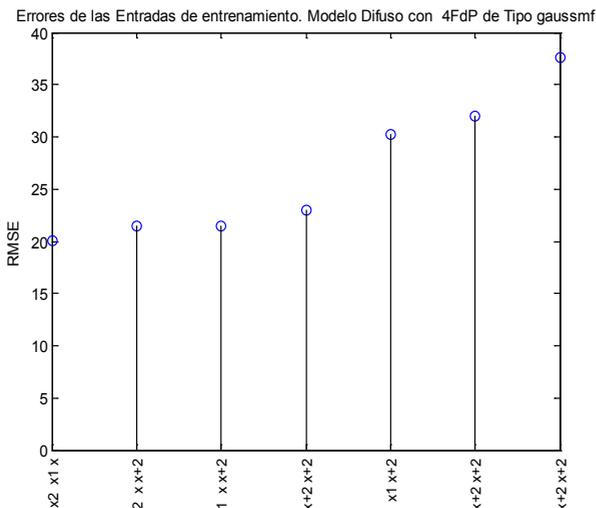


Fig. 3. Error RMSE de las entradas candidatas según entrenamiento con 3 FdP Gaussianas para la serie COLCAP

mientas Anfis y Fuzzy de Matlab permite una configuración de acuerdo a las preferencias del usuario [7], [8].

#### 4.2 Selección de las entradas de entrenamiento y particiones difusas

La función “pronóstico” también permite calcular el error que arroja cada posible modelo de entradas (Error RMSE), y selecciona la combinación de entradas con mejor desempeño, para conformar la matriz con las entradas candidatas de (8). La figura 3 presenta un ejemplo del cálculo de las entradas y errores en el entrenamiento de la red en la serie de tiempo del índice COLCAP. Se escoge la configuración con el menor error RMSE.

Según se mencionó previamente en la sección 3.2.1, el método se fundamenta en la ejecución de varios modelos con una época de entrenamiento del método híbrido. En la figura 4 se presenta la ejecución del programa en Matlab para determinar el modelo ANFIS con el menor error RMSE de entrenamiento. Esta medida estadística constituye una herramienta para comparar la precisión obtenida con diferentes modelos, que deben analizarse conjuntamente para evitar tomar conclusiones erradas [20].

Como se consideraron cuatro entradas candidatas (D=4), al aplicar la Eq. (8) resultan los modelos por serie presentados en la Tabla 1.



Fig 4. Cálculo de los ajustes del modelo ANFIS, con la función “pronóstico”

#### 5. CASO APLICATIVO EN LA BOLSA DE VALORES DE COLOMBIA

El pronóstico de la tendencia, precio y rendimiento de un índice bursátil o de las acciones del mercado de valores es un tema de gran importancia, con todo, resulta difícil realizar pronósticos confiables debido a la complejidad del mercado de valores [2]. El caso de estudio se aplica sobre las series de tiempo relacionadas con acciones muy representativas del mercado bursátil colombiano. Se elegirá la predicción de la rentabilidad en dos días mediante pronóstico del comportamiento del índice COLCAP. El mismo ejercicio se realiza para tres empresas específicas (ISA, Ecopetrol, Bancolombia), con peso importante en el comportamiento del COLCAP.

Los datos oficiales de precios de las acciones y de los índices de la BVC pueden ser obtenidos a través de las páginas de comisionistas bursátiles. De esta manera, un inversionista que desee entrar en la especulación del mercado bursátil en el corto plazo podrá obtener referencias sobre la posible rentabilidad de su inversión en periodos cortos (hasta 15 días). Para este caso de estudio se elige la información oficial de la BVC [29].

Tabla 1. Caracterización de las series de tiempo y resultados de pronóstico con el modelo ANFIS

Serie	Datos Totales (t, Z <sub>t</sub> )	Datos Entrena	Pronósticos								
			Δ = 1 día			Δ = 2 días			Δ = 10 días		
			Pronóstico	RMSE	Real	Pronóstico	RMSE	Real	Pronóstico	RMSE	Real
COLCAP	1392	1111	1774	21,7	1765	1763	30,4	1768	1716	59,9	1757
ISA	1391	1115	9699	126	9620	9835	246	9700	9374	438	9480
ECOPETROL	1397	1116	4483	81	4435	4460	107	4425	4670	342	4355
BANCO-LOMBIA	1397	1116	27553	567	26960	27692	689	26760	27129	1312	26640

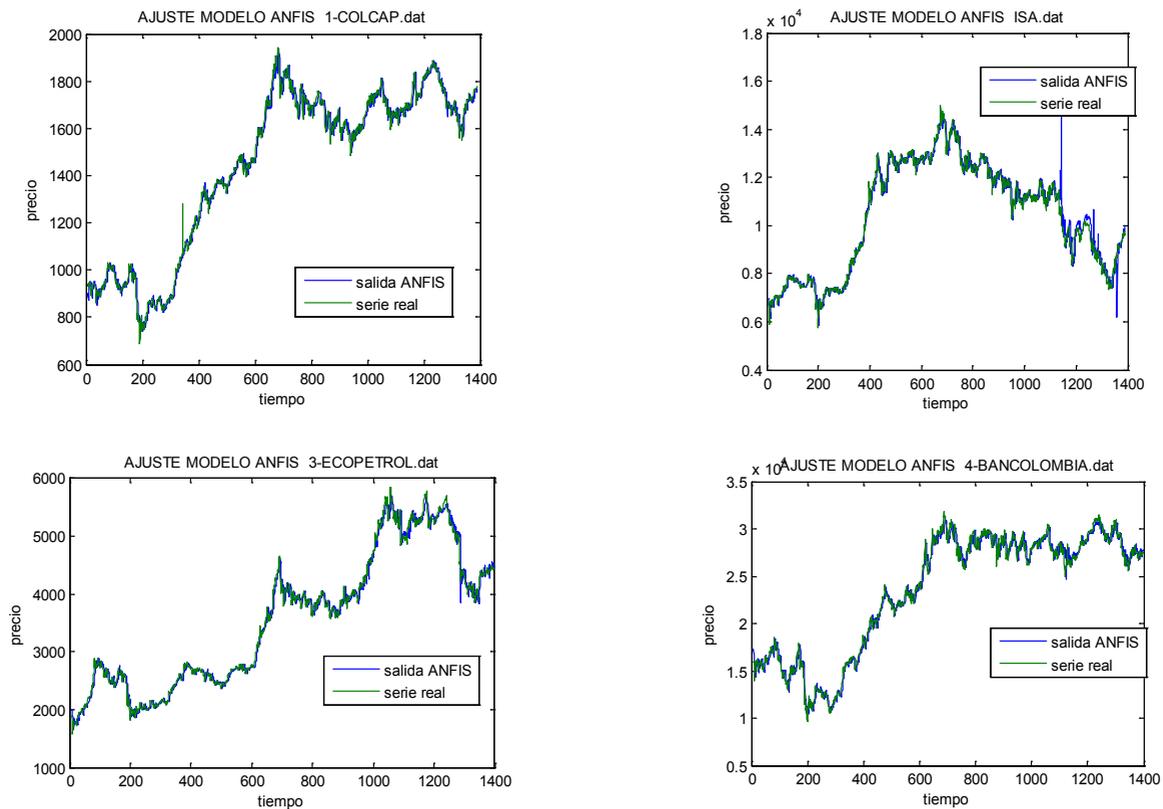


Fig. 5. Pronóstico del modelo ANFIS para el día 27 de septiembre de 2013 (Δ = 2 días)

### 5.1 Pronóstico del comportamiento de valores en la Bolsa

A continuación se toman las comparaciones de precios de acciones, en los periodos comprendidos entre el 14 de enero de 2008 y el 25 de septiembre de 2013, correspondiente al periodo de vigencia del índice COLCAP (esto equivale a una serie de tiempo con 1393 datos). Este ejercicio es muy interesante debido a la altísima volatilidad que se ha presentado en la Bolsa de Valores de Colombia, incluyendo la crisis económica mundial en el mes de octubre del

año 2008. En la figura 5 se presentan las series de tiempo que se analizan con ANFIS. La Tabla 1 relaciona las series contempladas como casos de análisis para la construcción de los respectivos modelos y la cantidad de datos a utilizar, así como los resultados obtenidos en el pronóstico.

El comando “pronóstico” requiere que el archivo de alimentación de la serie de tiempos esté ordenado cronológicamente, con el valor desde el primer día hasta el día con que se cuenta la información histórica.

Obsérvese que el modelo hace un muy buen seguimiento de la tendencia de la serie de tiempo. El modelo predice una leve valorización del 0.68% índice COLCAP para el día 2. Como información de referencia, el día 27 de septiembre de 2013, el índice COLCAP cerró con un valor de 1768 puntos [29]. Los correspondientes valores se han registrado en la Tabla 1.

Un inversionista especulativo podrá decidir si comprar o vender sus participaciones en ISA, Ecopetrol y Bancolombia, si con anticipación conoce la valorización (o desvalorización) que se espera de las mismas en el corto plazo.

### 5.2 Validación del pronóstico

Al momento de analizar la serie de tiempo, la metodología ANFIS sugiere examinar los residuales, para comprobar la validez del modelo. Si se satisface que los residuos son realmente ruido blanco, el modelo es apropiado; de lo contrario, debe considerarse otro modelo e iniciar nuevamente el proceso [6], [38]. El cálculo de los residuales, es decir, de la diferencia entre los valores estimados y los reales de la serie con los cuales se elaboran algunos estadísticos, son utilizados como parámetros de comparación de la calidad de los pronósticos generados por la metodología ANFIS [49].

En la figura 5 se evidencia ruido blanco a lo largo de toda la serie de tiempo, incluyendo las fechas de altas coyunturas (por ejemplo, el mes de octubre de 2008), pues se observa que la franja de error oscila entre  $\pm 50$  puntos (aproximadamente 5% de tolerancia). Este indicativo permite concluir que el modelo ANFIS puede ser efectivo para pronósticos de muy corto plazo (1 a 5 días).

Como dato adicional, la función "pronóstico" también permite calcular los siguientes indicadores de error, mencionados en la sección 3.2.2 y en la Tabla 1. Para el caso particular del índice COLCAP en el periodo  $\Delta = 2$ :

- Desviación estándar (s) = 31,1
- Raíz del error cuadrático medio del pronóstico (RMSE) = 30,4

Estas medidas de error permiten efectuar comparaciones entre uno o más sistemas de pronósticos. Lo anterior permitirá concluir que el mejor sistema de pronósticos es aquel que presenta menores valores de dichos estadísticos. Para mayores referencias es

posible consultar trabajos especiales como [1], [20], [34], [36] en los que se realizan aplicaciones de comparación de los errores entre técnicas de pronóstico autorregresivas como ARIMA, las cuales se comparan con técnicas heurísticas como las redes neuronales y/o los sistemas ANFIS. Dichos trabajos han demostrado que en muchos casos, se obtienen medidas de error menores con modelos ARIMA en pronósticos de largo plazo, pero mejores rendimientos con ANFIS en pronósticos a corto plazo (1 ó 2 días). A partir de la Tabla 1, se observa que el pronóstico para el día  $\Delta = 2$  (o sea, para el 27 de septiembre de 2013) se expresará como:

$$\text{Valor} = \text{Pronóstico (27 septiembre)} \pm \text{RMSE} \quad (10)$$

En este caso particular, se confirma que el pronóstico de rentabilidad se ha ajustado adecuadamente a la realidad, al observarse en la Tabla 1 una predicción del COLCAP a 1763 puntos con RMSE de 30 puntos. El dato real del COLCAP fue de 1768 puntos, con lo que la predicción se ajusta a la ecuación (10). Similares casos se presentan para el caso de pronósticos a  $\Delta = 1$  día y  $\Delta = 10$  días, por lo que la predicción se sitúa dentro de los límites diagnosticados por el modelo.

Un comentario positivo, tiene que ver con el hecho que estos tres títulos se desvalorizaron en el mismo periodo que se evidenció una renta positiva del índice COLCAP (Tabla 1), a pesar de ser acciones con altísima participación en la conformación del índice. Lo anterior demuestra la versatilidad del modelo de predicción.

### 5.3 Generación del modelo difuso tipo Takagi-Sugeno

Una importante aplicación de la función "pronóstico" tiene que ver con la posibilidad de generar un modelo difuso Takagi-Sugeno, con sus respectivas reglas, para futuros estudios y análisis de la serie de tiempos.

El comando fuzzy de Matlab permite visualizar el modelo difuso que se genera al momento de calcular el modelo ANFIS [6], [7], [8]. Como información, el modelo que se genera no es de tipo lingüístico (Mamdani). La figura 6 ilustra las 16 reglas difusas del tipo Takagi-Sugeno (TS), así como la respectiva superficie del modelo para el entrenamiento de la capa 5 de ANFIS.

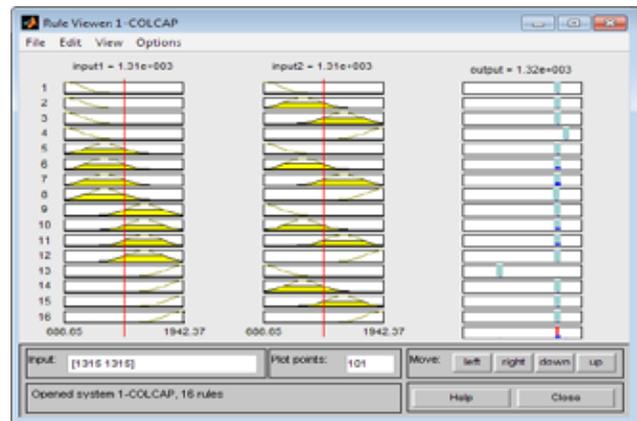
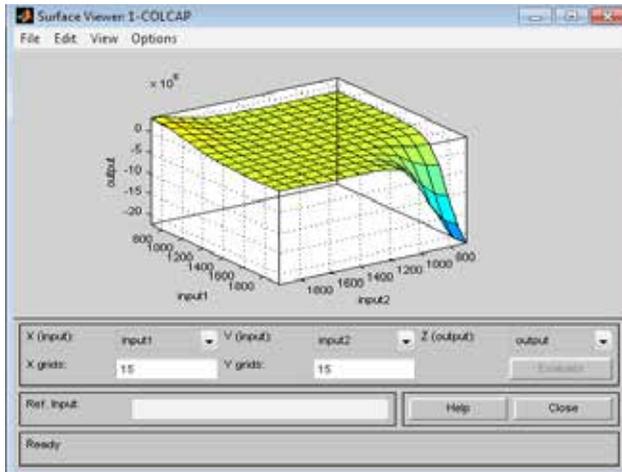


Fig. 6. Superficie difusa y reglas de los modelos TS (Serie de tiempo del índice COLCAP)

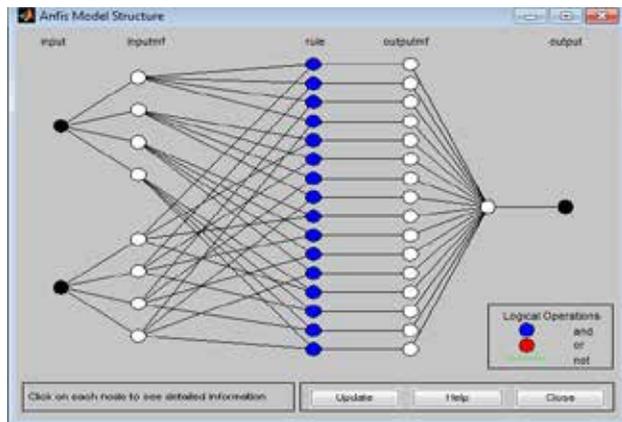


Fig. 7. Estructura de la red ANFIS para predicción

La estructura de la red ANFIS generada para calcular las predicciones de la serie de tiempo se ilustra en la Figura 7.

Obsérvese que en la relación de capas, constituidas por las siguientes componentes, la capa 3 contiene el conjunto de 16 reglas TS que permiten entrenar las redes neuronales de las capas 4 y 5, las cuales permiten obtener el pronóstico definitivo.

#### 5.4 Discusión

El análisis técnico apoyado en redes ANFIS permite comprender la dinámica de los mercados bursátiles, en el sentido que permite ajustarse al propósito firme de lograr “ganarle al mercado” [3]. Indudablemente, estas aproximaciones formales y objetivas de obtención de pronóstico de los precios de acciones se perfilan como herramientas confiables y de gran

apoyo al trabajo de analistas para mejorar sus estrategias de negociación y obtención de utilidades [1], para apoyar la toma de decisiones (comprar barato para vender caro). La construcción de los modelos se realiza con base en el comportamiento histórico de los precios de las acciones. Se utiliza como base conceptual un enfoque de corte técnico, es decir, interpretar los precios históricos de las acciones como elemento predictivo de su comportamiento futuro [1], [50].

En el caso particular del mercado bursátil, se evidencia la capacidad que tiene ANFIS de recoger elementos no lineales de la estructura del precio. En consecuencia, ANFIS es una herramienta muy eficiente cuando se usa en el corto plazo [1], [30], [35]. Esta condición se evidencia a partir de las comparaciones de la Tabla 1, donde el error RMSE crece notablemente en la medida que se extiende los horizontes de predicción (en todos los casos el error RMSE es menor cuando  $\Delta = 1$  que cuando  $\Delta = 10$ ).

Se anota que la técnica expuesta en este artículo también se puede emplear en el estudio de tendencias horarias, es decir, utilizando información que los comisionistas de bolsa emplean diariamente, para que en tiempo real se establezcan las estrategias de compra-venta con la finalidad de obtener la máxima rentabilidad en los retornos de inversión en un mismo día.

La técnica puede ser empleada en una amplia gama de situaciones donde la información puede ser representada en series de tiempo y donde se requieren los pronósticos para apoyar la toma de decisiones.

Como ejemplos, pueden citarse aquellos campos que requieran el análisis de las series de tiempo, así como el análisis de tendencias. Otros campos de aplicación pueden ser: planeación de producción, el control de inventarios, análisis de mercados, hidrología, estadística inferencial, entre otras.

Un tema interesante para futuras líneas de trabajo tiene que ver con la comparación de la metodología ANFIS respecto de otras herramientas como redes neuronales, correspondiente a herramientas de inteligencia artificial, para verificar su desempeño y calidad en los pronósticos [51]. También se abre la ventana para futuros trabajos que consideren los modelos estadísticos de regresión y de pronóstico, como ARMA o ARIMA, incluyendo el estudio de los tiempos totales de simulación o las poblaciones de datos requeridas en cada caso [20], [39]. Una futura línea de trabajo requerirá la comparación de las técnicas heurísticas (tipo ANFIS) con técnicas estadísticas autorregresivas (tipo ARIMA), que permiten enfrentarse al reto de pronosticar las series de tiempo y comparar las medidas de error para cada método. Es claro que aunque se trata de dos metodologías disímiles, será interesante analizar los resultados aplicados en series de tiempo.

Finalmente, la técnica ANFIS procesa los datos directamente sin realizar ningún filtro en la capa 1. Esto puede representar un inconveniente para los analistas, pues es altamente probable que existan bases de datos con ciertas informaciones erróneas que no necesariamente se detectan mediante la técnica. En ese sentido, es conveniente combinar este método de predicción con filtros que permitan seleccionar adecuadamente los datos correctos para hacer las predicciones.

## 6. CONCLUSIÓN

La implementación de la herramienta de pronóstico, fundamentada en el análisis de una metodología actualizada en el área de inteligencia artificial constituye un aporte de esta investigación, dada la oportunidad que se ha tenido de implementar el concepto de red neuro-difusa en un lenguaje como MATLAB. En ese sentido, el uso de las redes ANFIS ayuda al análisis técnico de un título o acción, tomando la información de futuros precios a partir del comportamiento histórico.

## REFERENCIAS

- [1] A. Arango Londoño, "Pronóstico del Índice General de la Bolsa de Valores de Colombia (IGBC) usando modelos de inferencia difusa," MSc Administración Tesis Maestría en Administración, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2013.
- [2] A. Arango, J. D. Velásquez, and C. J. Franco, "Técnicas de lógica difusa en la predicción de índices de mercados de valores: una revisión de literatura," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 12, pp. 117-126, 2013.
- [3] E. M. Toro Ocampo, A. Molina Cabrera, and A. Garcés Ruiz, "Pronóstico de bolsa de valores empleando técnicas inteligentes," *Revista Tecnura*, vol. 9, pp. 57-66, 2006.
- [4] Z. Yun, Z. Quan, S. Caixin, L. Shaolan, L. Yuming, and S. Yang, "RBF neural network and ANFIS-based short-term load forecasting approach in real-time price environment," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 23, pp. 853-858, 2008.
- [5] P. A. Sánchez, "Cambios estructurales en series de tiempo: una revisión del estado del arte," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 7, pp. 115-140, 2008.
- [6] M. Mathworks. (2013). *Training routine for Sugeno-type Fuzzy Inference System*. [Online]. Available: <http://www.mathworks.es/es/help/fuzzy/anfis.html>
- [7] M. Mathworks. (2013). *Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling*. [Online]. Available: <http://www.mathworks.es/es/help/fuzzy/adaptive-neuro-fuzzy-inference-systems.html>
- [8] M. Mathworks. (2013). *Fuzzy Inference System Modeling*. [Online]. Available: <http://www.mathworks.es/es/help/fuzzy/mamdani-fuzzy-inference-systems.html>
- [9] M. Lam, "Neural network techniques for financial performance prediction: integrating fundamental and technical analysis," *Decision Support Systems*, vol. 37, pp. 567-581, 9/ 2004.
- [10] Y.-H. Lui and D. Mole, "The use of fundamental and technical analyses by foreign exchange dealers: Hong Kong evidence," *Journal of International Money and Finance*, vol. 17, pp. 535-545, 6/1/ 1998.

- [11] N. Ülkü and E. Prodan, "Drivers of technical trend-following rules profitability in world stock markets," *International Review of Financial Analysis*, vol. 30, pp. 214-229, 12// 2013.
- [12] D. A. Agudelo and J. H. Uribe, "¿Realidad o sofisma? Poniendo a prueba el análisis técnico en las acciones colombianas," *Cuadernos de Administración*, vol. 22, pp. 189 -217, 2009.
- [13] R. Babuška and H. Verbruggen, "Neuro-fuzzy methods for nonlinear system identification," *Annual reviews in control*, vol. 27, pp. 73-85, 2003.
- [14] K. Cios and W. Pedrycz, "Neuro-fuzzy algorithms," *Handbook of Neural Computation, IOP Publishing and Oxford University Press, Oxford*, p. D1, 1997.
- [15] J.-S. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- [16] M. Roubens, "Fuzzy sets and decision analysis," *Fuzzy sets and systems*, vol. 90, pp. 199-206, 1997.
- [17] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, pp. 116-132, 1985.
- [18] T. Whalen and C. Brønn, "Essentials of Decision Making Under Generalized Uncertainty," in *Combining Fuzzy Imprecision with Probabilistic Uncertainty in Decision Making*. vol. 310, J. Kacprzyk and M. Fedrizzi, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 1988, pp. 26-47.
- [19] G. J. Correa Henao, "Aproximaciones metodológicas para la toma de decisiones, apoyadas en modelos difusos," Máster Ingeniería de Sistemas Tesis Magister en Ingeniería de Sistemas Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2004.
- [20] J. F. Marín Valencia and K. A. Muñoz Ocampo, "Comparación entre los Modelos de Box & Jenkins y el Modelo ANFIS en el pronóstico de precios de acciones en el corto plazo," Ingeniería Industrial Tesis Ingeniero Industrial, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2002.
- [21] M. A. Henao, W. M. Trejos, and F. V. Duque, "Pronóstico de las tasas de cambio. Una aplicación al Yen Japonés mediante redes neuronales artificiales," *Scientia Et Technica*, vol. 12, pp. 233-238, 2006.
- [22] T. Cruz, E. Arturo, J. H. Restrepo, and P. Medina Varela, "Pronóstico del índice general de la Bolsa de Valores de Colombia usando redes neuronales," *Scientia et Technica*, vol. 1, 2009.
- [23] D. A. Agudelo Rueda, "Liquidez en los mercados accionarios colombianos," *Cuadernos de Administración*, vol. 23, pp. 239-269, 2010.
- [24] S. Botero Botero and J. A. Cano Cano, "Análisis de series de tiempo para la predicción de los precios de la energía en la Bolsa de Colombia," *Cuadernos de Economía*, vol. 27, pp. 173-208, septiembre, 2008.
- [25] M.-G. Financial. (2013). *S&P Dow Jones Indices*. [Online]. Available: <http://us.spindices.com/>
- [26] G. A. Marín, "Predicción de precios de acciones en bolsa mediante redes neuronales artificiales," Especialización en Sistemas de Información, Trabajo de grado Especialista en Sistemas Informáticos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2000.
- [27] T. B. Ludermir, A. Yamazaki, and C. Zanchettin, "An Optimization Methodology for Neural Network Weights and Architectures," *Neural Networks, IEEE Transactions on*, vol. 17, pp. 1452-1459, // 2006.
- [28] D. A. Agudelo Rueda, "Costos de transacción asociados a la liquidez en la Bolsa de Valores de Colombia," *Cuadernos de Administración*, vol. 24, pp. 13-37, 2011.
- [29] B. V. C. BVC. (2013). *Comunicados de Prensa Bolsa de Valores de Colombia*. [Online]. Available: <http://www.bvc.com.co/>
- [30] A. Zúñiga and C. Jordán, "Pronóstico de caudales medios mensuales empleando sistemas Neurofuzzy," *Revista Tecnológica-ESPOL*, vol. 18, 2013.
- [31] L. Á. Medina, "Aplicación de la teoría del portafolio en el mercado accionario colombiano," *Cuadernos de Economía*, vol. 22, pp. 129-168, 2003.

- [32] A. Abraham and B. Nath, "A neuro-fuzzy approach for modelling electricity demand in Victoria," *Applied Soft Computing*, vol. 1, pp. 127-138, 2001.
- [33] L. dos Santos Coelho, A. A. Portela Santos, and N. C. Affonso da Costa Jr., "Podemos prever a taxa de cambio brasileira? Evidência empírica utilizando inteligência computacional e modelos econométricos," *Gestão & Produção*, vol. 15, pp 635-647, 2008.
- [34] D. Quintana, R. Gimeno, and P. Isasi, "Detección de inercia sectorial en salidas a bolsa mediante modelos ARIMA y redes neuronales," Instituto Centroamericano de Administración Pública - ICAP, 2005.
- [35] F. Villada, E. García, and J. D. Molina, "Pronóstico del precio de la energía eléctrica usando redes neuro-difusas," *Información tecnológica*, vol. 22, pp. 111-120, 2011.
- [36] Y. Gao and M. J. Er, "NARMAX time series model prediction: feedforward and recurrent fuzzy neural network approaches," *Fuzzy sets and systems*, vol. 150, pp. 331-350, 2005.
- [37] A. E. Gaweda, J. M. Zurada, and R. Setiono, "Input selection in data-driven fuzzy modeling," in *Fuzzy Systems, 2001. The 10th IEEE International Conference on*, 2001, pp. 1251-1254.
- [38] J.-S. Jang, "Input selection for ANFIS learning," in *Fuzzy Systems, 1996. Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on*, 1996, pp. 1493-1499.
- [39] J. D. Velásquez Henao, "Pronóstico de la serie de Mackey–Glass usando modelos de regresión no lineal," *Dyna*, vol. 71, pp. 85-95, 2004.
- [40] J. D. Velásquez Henao and C. Zapata, "Pronóstico del caudal medio mensual, con una ventana de 12 meses, usando sistemas difusos," 2004.
- [41] J. J. Montaña Moreno, "Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis de datos," Doctorado Psicología, Facultad de Psicología, Tesis doctoral de la Facultad de Psicología, Universitat de Les Illes Balears, Palma de Mallorca, España, 2002.
- [42] I. L. López-Cruz and L. Hernández-Larragoiti, "Modelos neuro-difusos para temperatura y humedad del aire en invernaderos tipo cenital y capilla en el centro de México," *Agrociencia*, vol. 44, pp. 791-805, 2010.
- [43] P. Sinčák, M. Holécy, and M. Dučai. (1998). *Computational Intelligence in Financial Cybernetics*. [Online]. Available: [http://www.ai-cit.sk/cigOld/source/publications/conference\\_papers/sincak/All/html/index.html](http://www.ai-cit.sk/cigOld/source/publications/conference_papers/sincak/All/html/index.html)
- [44] S. Areerachakul and S. Sanguansintukul, "A comparison between the multiple linear regression model and neural networks for biochemical oxygen demand estimations," in *Eighth International Symposium on Natural Language Processing, 2009. SNLP '09*, Bangkok, Thailand, 2009, pp. 11-14.
- [45] W. Yu and X. Li, "Fuzzy identification using fuzzy neural networks with stable learning algorithms," *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, vol. 12, pp. 411-420, 2004.
- [46] J. D. Velásquez and C. Zapata, "Pronóstico del caudal medio mensual, con una ventana de 12 meses, usando sistemas difusos," Proyecto de Investigación. Universidad Nacional De Colombia–Medellín, 2004.
- [47] H. D. Álvarez Zapata, "Versión breve de algunas técnicas de Inteligencia Artificial," *Dyna*, vol. 63, pp. 13-23, 1996.
- [48] L. P. Maguire, B. Roche, T. M. McGinnity, and L. McDaid, "Predicting a chaotic time series using a fuzzy neural network," *Information Sciences*, vol. 112, pp. 125-136, 1998.
- [49] E. C. Zapata, J. D. Velásquez, and R. Smith Q, "Caracterización del SOI usando ANFIS con residuales heterocedásticos," *Ingeniería. Revista chilena de ingeniería*, vol. 15, pp. 302-312, 2007.
- [50] P. Estévez García, "Aplicaciones de las redes neuronales en finanzas," *Documentos de trabajo de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, p. 5, 2002.
- [51] N. Science. (2004). *ANNI Standard - Artificial Neural Network Investing*. [Online]. Available: [http://download.cnet.com/ANNI-Standard-Artificial-Neural-Network-Investing/3000-2057\\_4-10343970.html?tag=pdp\\_prod](http://download.cnet.com/ANNI-Standard-Artificial-Neural-Network-Investing/3000-2057_4-10343970.html?tag=pdp_prod)

## LA GESTIÓN DE PROYECTOS SOFTWARE, UNA PROSPECTIVA EN LA APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS EN LA INGENIERÍA COLABORATIVA

### PROJECT MANAGEMENT SOFTWARE, A PROSPECTIVE ON THE APPLICATION OF STRATEGIES IN COLLABORATIVE ENGINEERING

**José Luis Jurado-Muñoz, MSc**

*Grupo de Investigación LIDIS,  
Universidad de San Buenaventura  
Cali, Colombia  
jjjurado@usbcali.edu.co*

**César Jesús Pardo-Calvache, Ph.D**

*Grupo de Investigación GITI,  
Universidad Autónoma de Occidente  
Cali, Colombia  
cjpardo@uao.edu.co*

(Recibido el 17-08-2012. Aprobado el 20-12-2012)

**Resumen.** : La gestión de proyectos es una disciplina que integra diversas áreas de aplicación como la ingeniería, administración, economía, política, entre otras. Su interpretación y posterior ejecución es una tarea que demanda gran complejidad debido a la tecnicidad y alto número de sus procesos, el director de un proyecto de software y su equipo de apoyo debe tener no solo la experiencia en el campo sino el conocimiento pertinente para aplicar cualquiera de las metodologías que esta disciplina demanda para ser aplicada de la mejor manera. La falta de procedimientos y herramientas formales en su implementación impiden su acertada ejecución generando diversos problemas de índole administrativo y técnico que redundan en la calidad del producto entregado.. En este sentido, el presente artículo busca describir de una manera simplificada, la forma en que se podrían definir procedimientos y herramientas documentales de gestión de proyectos aplicando técnicas de la ingeniería de la colaboración, vistas desde la perspectiva de PMBOK como guía de referencia para la aplicación de buenas prácticas en gestión de proyectos. Asimismo, se presenta una breve descripción de la estructura interna de un modelo de mejora basado en PmCompetisoft, el cual garantiza el ajuste y adaptación de los procesos de gerencia de proyectos a un modelo de referencia establecido y el soporte de un modelo de evaluación para su validación respectiva.

**Palabras clave:** Gestión de Proyectos, Ingeniería de la Colaboración, Mejora de Procesos, PMBOK, Estudio de Caso.

**Abstract.** Project management is a discipline that integrates diverse application areas such as engineering, management, economics, politics, among others. Their interpretation and subsequent execution is a task that demands great complexity due to the technicality and high number of processes, the director of a software project and its support team must have not only the experience in the field but the relevant knowledge to apply any of the methodologies required by this discipline to be applied in the best way. The lack of formal implementation tools and procedures prevent successful execution generating various problems and administrative which result in the quality of the delivered product... In this sense, this article seeks to describe a simplified way, the way in which you could define documentary project management tools and procedures applying techniques of engineering collaboration, seen from the perspective of PMBOK as a reference guide for the application of best practices in project management. Also, a brief description of the internal structure of a model of improvement based on "PmCompetisoft", which guarantees the adjustment and adaptation of project management processes to an established reference model and the support of an assessment model for their respective validation occurs.

**Keywords:** Project management, engineering of the collaboration, process improvement, PMBOK, case study.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería de software agrupa varias disciplinas orientadas a obtener productos de calidad en los procesos de desarrollo de software. La gestión de proyectos informáticos, es una de esas disciplinas donde se busca la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto, para satisfacer los requisitos del mismo [1]. La gestión de proyectos se logra mediante la aplicación e integración de diferentes estrategias y técnicas orientadas a la mejora de los procesos de control y seguimiento en la gestión de los proyectos informáticos en una organización [2]. Estas técnicas van desde la iniciación, planificación, ejecución, seguimiento, control, y cierre, que son coordinadas por un director de proyecto, que es la persona responsable de alcanzar los objetivos del mismo, tomar las decisiones convenientes y propender por el beneficio de sus colaboradores y grupo de trabajo [3]. De este modo, se podría afirmar que el éxito de un proyecto informático radica en la adecuada coordinación de los distintos actores involucrados en el proceso de construcción de software, y de su grado de responsabilidad y compromiso con las tareas y documentos que se encuentren bajo su responsabilidad [4].

La complejidad que ha sido identificada con la gestión de proyectos, está determinada no sólo por el gran número de procesos o actividades que la conforman, sino también por la participación tanto individual como grupal de un equipo de trabajo interdisciplinar en la ejecución de prácticas como (i) seguimiento de procesos, (ii) definición de tiempos, (iii) asignación y (iv) manejo de recursos, entre otros. Todas estas tareas implican un alto grado de entendimiento y compromiso de cada uno de los actores involucrados en las diferentes actividades asignadas a su cargo [5].

Actualmente, la mayor parte de las actividades relacionadas con la gestión de proyectos no se llevan a cabo de forma adecuada; ejemplo de ello es el caso de las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMEs), ya sea por desconocimiento, falta de entendimiento en la aplicación de diversas metodologías, desinterés en emplear las llamadas buenas prácticas por su alta complejidad operativa o simplemente por la inexistencia de un procedimiento adaptado o pensado en las condiciones de sus necesidades y características [6]. Además, los modelos, guías y metodologías relacionados con la gestión de proyectos son insuficientes sin modelos para llevar a cabo la evaluación y mejora de los procesos que se describen a partir de su implementación. Un ejemplo de ello es

PMBOK, una guía de buenas prácticas en gestión de proyectos, reconocida por los sectores empresarial y académico por su alto nivel de detalle con relación a los procedimientos y documentación que describe [7]. Sin embargo, al igual que otras guías y metodologías de gestión, la información e instrumentos de medición en la evaluación y mejora de sus procesos no es suficiente, afirmación que puede ser corroborada en el estudio realizado por Jurado [8]. Esta característica es importante al momento de evaluar los logros obtenidos en los diferentes procesos y sus respectivos soportes documentales. En ese sentido, no basta con tener una documentación detallada y completa de cada proceso y tarea en gestión de proyectos, sino que es necesario, igualmente, contar con elementos suficientes para evaluar tanto el desempeño, problemas, resultados y conocimientos adquiridos durante y al finalizar el desarrollo de un proyecto informático [8].

Por otra parte, es necesario resaltar la necesidad de proveer al equipo de desarrollo con herramientas de gestión procedimental, por ejemplo, gestores de flujo de trabajo, guías de desarrollo documental, asignación y diferenciación de roles y tareas, entre otras [8]. La falta de herramientas imposibilita el desarrollo de las características distintivas e inherentes a las MiPyMEs, tales como el trabajo en equipo, desarrollo de tareas coordinadas, cooperativismo, asociatividad, apropiación de experiencias adquiridas en conjunto, etcétera [8].

Lo anterior conlleva a pensar que es necesario buscar alternativas que permitan rescatar el uso y el estudio de estrategias para mejorar la experiencia en la aplicación de procesos de gestión de proyectos. Por lo tanto, pensar en la adopción de conceptos de ingeniería colaborativa entendidos como el trabajo con otros para alcanzar un producto u objetivo común permitirá a las organizaciones potencializar su trabajo tanto individual como grupal, agilizando procesos, controlando avances, determinando y midiendo riesgos en grupo [9], [10]. Esto, podría fortalecer la formulación de ideas y propósitos comunes de una organización al enriquecer el conocimiento a partir de las experiencias de proyectos anteriores, así como la socialización y aprendizaje de resultados.

La incorporación de estas características de la ingeniería colaborativa permite pensar en que su integración a las prácticas de la gestión de proyectos posibilitará obtener procesos ágiles, fáciles de entender y aplicar a las condiciones de las MiPyMEs, sector de la industria más vulnerable y expectante por adoptar en sus procesos de producción prácticas de mejoramiento en la gestión de sus proyectos [11].

Teniendo en cuenta lo anterior, este artículo presenta una propuesta a la aplicación de la gestión de proyectos, la cual se caracteriza por definir prácticas específicas enfocadas a controlar y verificar los avances de un proyecto a partir de un enfoque ágil e integrando técnicas colaborativas. Esta propuesta describe un marco de mejora de gestión de proyectos desde la perspectiva de la Ingeniería de la colaboración. El objetivo de este artículo es describir dos de ellos: el modelo de referencia y el modelo de evaluación. En ese sentido, además de la introducción, el artículo está organizado de la siguiente forma: la sección 2 presenta un contexto referencial al proyecto desarrollado. La sección 3 presenta la metodología definida para la definición de la propuesta. La sección 4 describe el modelo de referencia. La sección 5 presenta el modelo de evaluación definido para la validación del modelo propuesto. Finalmente, la sección 6 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se presentan algunos trabajos relacionados con los propósitos fundamentales de la propuesta definida. Estos trabajos relacionados han sido seleccionados en tres grupos: gestión de proyectos, ingeniería colaborativa y mejora de procesos.

### 2.1 Gestión de proyectos

La gestión de proyectos vista como una herramienta de control de procesos al interior de una organización, es el primer elemento distintivo del proyecto mencionado en este documento, donde la perspectiva tomada por el PMBOK, según el Project Management Institute [14], ha sido tomada como una guía metodológica que agrupa un compendio de buenas prácticas en gerencia de proyectos, una colección de procesos y áreas de conocimiento generalmente aceptadas como las mejores prácticas dentro de la gestión de proyectos. El PMBOK reconoce cinco grupos de procesos básicos y nueve áreas de conocimiento comunes a casi todos los proyectos; tanto los grupos de procesos como las áreas de conocimiento fueron tomados en su totalidad para la adaptación de técnicas de ingeniería colaborativa.

Cabe resaltar que en dicho proceso de adaptación, los grupos de procesos reconocen tareas y roles a cada miembro o partícipe de las distintas actividades propuestas por las nueve áreas de conocimiento de PMBOK.

### 2.2 Ingeniería colaborativa

El otro eje desarrollado en el proyecto es la denominada ingeniería de la colaboración, disciplina adscrita a la ingeniería del software, que plantea como primera instancia en su conceptualización el valor de reconocer el trabajo en grupo o trabajo colaborativo, como se le mencionará de ahora en adelante. Este aspecto se refiere a contar con un objetivo común en la organización, que canalice los esfuerzos individuales y ofrezca un sentido de pertenencia, que fomente la unión entre los miembros del grupo para mejorar su capacidad de aprender, tomando en consideración otros puntos de vista, así como distintas maneras de hacer las cosas, interpretaciones diferentes de conceptos y experiencia, esto es, trabajar colaborativamente [15].

Aunque se conozcan los pasos que un grupo de personas debe seguir para efectuar un proceso colaborativo y se tenga un conocimiento general de los resultados obtenidos durante la ejecución de cada paso, no se conoce necesariamente cómo el grupo ejecutará cada uno de ellos. Por tal razón, debe contextualizar conceptos como [10]: la definición de roles, la asignación de responsabilidades, la especificación de escenarios de colaboración, la evaluación de actividades colaborativas por medio de *Thinklets*, que no son más que reglas de comportamiento, seguimiento y validación de tareas en forma colaborativa.

### 2.3 Mejora de procesos

Una alternativa en el desarrollo de software de calidad, es contemplar los beneficios que la mejora de procesos, disciplina de la ingeniería de software proporciona a los procesos de desarrollo, cuando se intenta cambiar la forma en que se realizan las tareas en una organización, con el fin de mejorar en cuanto a calidad y productividad. Algunos beneficios de implementar la mejora de procesos en una organización son [9]: la reducción de errores en el software; la reducción en el tiempo de entrega y el incremento en la eficiencia de pruebas; además que facilita la definición y cumplimiento de los objetivos de calidad, mejorando la comunicación del equipo de trabajo e incremento de la satisfacción del cliente frente al producto entregado.

Uno de los propósitos que busca la aplicación de estrategias de mejora de procesos software es garantizar un mecanismo de mejora continua en las organizaciones, que permita auditar desarrollos de software internos, planificar la estrategia de ingeniería del software de la empresa, entre muchos otros beneficios [5].

Por lo tanto, la adopción de modelos definidos y comprobados como Competisoft, permite contribuir a la dinamización, comprensión y ejecución de prácticas de gestión de proyectos especialmente orientadas a micro y pequeñas empresas [15].

### 3. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA

En la presente sección se describirán las estrategias diseñadas para adoptar elementos de la ingeniería colaborativa en procesos de gestión de proyectos y aplicados a PMBOK como guía de buenas prácticas de esta disciplina.

La propuesta descrita en este documento se centra en mencionar las estrategias de integración diseñadas, mas no en detallar los instrumentos definidos para cada uno de los componentes del modelo de mejora. Dicho modelo constituye una adaptación del marco de mejora de Competisoft a las prácticas de gestión de proyectos basados en PMBOK. De igual modo se busca que cada una de dichas prácticas sea definida desde la perspectiva de la ingeniería de la colaboración, integrando sus técnicas de ejecución y control de procesos, así como la adaptación de distintos elementos característicos de esta disciplina de la ingeniería de software. La figura 1 representa la estructura del marco de mejora propuesto.

Para el diseño de la propuesta (modelo de referencia) se definieron dos estrategias (fases), ellas son: (i) análisis del contexto para la definición del modelo de referencia y (ii) la caracterización de procesos colaborativos. Estas fases permitieron definir más adelante los componentes del modelo de referencia. A continuación se describen resumidamente:

#### 3.1 Contexto para la definición del modelo de referencia

Para la definición del modelo de referencia a las condiciones y reglamentos de la ingeniería colaborativa, es necesario, en primera instancia, apropiarse los elementos de la ingeniería colaborativa a los procesos de un modelo de mejora. Para lograr esto se deben identificar los criterios y condiciones que serán adaptados al modelo de mejora y luego analizar la forma de su aplicación, de tal modo que pueda ser visto como un proceso colaborativo en un entorno de mejora de procesos. Para considerar un proceso como un ejercicio colaborativo, debe cumplir con una serie

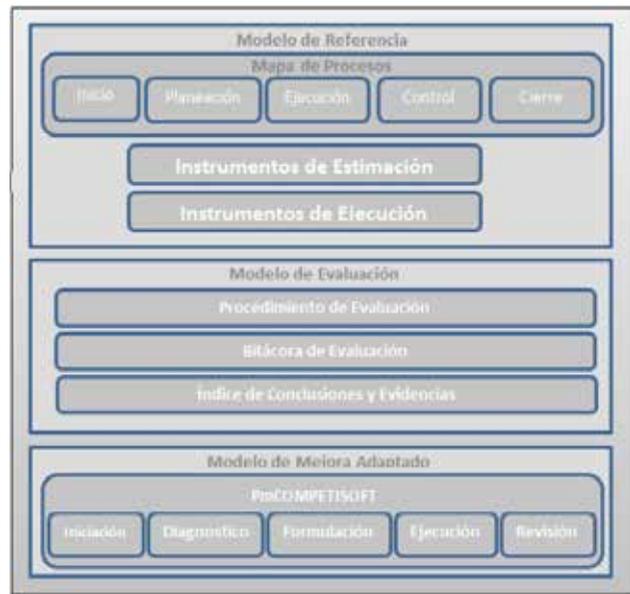


Fig. 1. Marco de mejora propuesto

de reglas y criterios definidos por la misma ingeniería colaborativa. Algunos de los criterios tomados como referente para definir indicadores de medición de procesos colaborativos son [6]: Interdependencia positiva (IP), interacción estimuladora cara a cara (IECC), responsabilidad personal (RP), habilidades interpersonales y de equipo (HIE) y evaluación grupal (EG).

#### 3.2 Caracterización de procesos colaborativos

Con la segunda fase se busca reconocer e identificar las características que debe tener una actividad colaborativa. Inicialmente se deben clasificar las reglas de trabajo colaborativo sugeridas [6]. Estas reglas citadas en el apartado anterior permiten reconocer comportamientos y aptitudes tanto del individuo como del grupo de trabajo y sus respectivas acciones en un contexto colaborativo. La fase de caracterización de procesos colaborativos fue desarrollada en cuatro etapas:

- *Clasificación de reglas como indicadores:* esta etapa toma los criterios colaborativos descritos en la sección [8] y se definen como indicadores de medición.
- *Determinación del grado de colaboración de una actividad:* etapa de caracterización que está en manos de expertos en ingeniería de la colaboración, los cuales a partir de la evaluación de unos patrones establecidos [8] y

teniendo en cuenta su experiencia, han determinado que actividades de la guía de PMBOK pueden ser tomadas como colaborativas.

- *Definición de indicadores de reglas colaborativas*: etapa donde se hace la definición de indicadores de reglas colaborativas, que permitan identificar y medir cada una de las actividades, así como procesos y subprocesos de la gestión de proyectos.
- *Relación de criterios con indicadores de medición de las reglas colaborativas*: la última etapa del proceso de caracterización busca relacionar los criterios de selección de actividades colaborativas, con los indicadores de medición de las reglas [8].

#### 4. MODELO DE REFERENCIA

El modelo de referencia propuesto está estructurado en tres partes: (i) un mapa de procesos, (ii) un conjunto de instrumentos de estimación y (iii) de ejecución, la figura 2 muestra la arquitectura básica del modelo propuesto. A continuación se resume cada uno de ellos:

##### 4.1 Mapa de procesos

El mapa de procesos es una guía o flujo de trabajo que marca el camino que se debe realizar para la elaboración de cada una de las actividades correspondientes al modelo de referencia. El mapa de procesos está dividido inicialmente en grupos de procesos, según lo determina la guía de PMBOK. Cada grupo de proceso está compuesto por actividades y, a su vez, cada actividad tiene una entrada y salida respectiva, así como un *thinklet* asociado, el cual determina el modo de ejecución de dicha actividad en forma colaborativa. La figura 3, muestra un ejemplo de la descripción del mapa de procesos correspondiente al grupo de iniciación [8].

##### 4.2 Instrumentos de estimación del modelo de referencia

Los instrumentos de estimación son herramientas documentales que permiten valorar el grado de colaboración y su implicación en el desarrollo de una actividad en el proceso de gestión de proyectos. Estos instrumentos fueron elaborados conforme al proceso de caracterización del modelo de referencia el cual se describe en la figura 4.



Fig. 2. Modelo de Referencia

##### 4.3 Instrumentos de ejecución del modelo de referencia

Permiten definir, ejecutar, controlar y llevar a cabo el seguimiento sobre avances y resultados finales de cada una de las actividades, procesos y sub-procesos que abarcan el ejercicio de la gerencia de proyectos. Los instrumentos definidos son:

- *Plantilla de asignación de responsabilidades*: este instrumento tiene como propósito definir y estandarizar las reglas de comportamiento de cada uno de los actores en un trabajo colaborativo según el rol asignado.
- *Plantilla de ejecución de actividades colaborativas*: instrumento que describe en forma detallada el plan de trabajo de cada actividad colaborativa correspondiente a un grupo de proceso específico.
- *Adecuación de actividades colaborativas*: instrumento que permite definir el procedimiento para la ejecución, medición y posterior evaluación de una actividad colaborativa.
- *Determinación de la ejecución de evidencias colaborativas*: instrumento del modelo de referencia, que permite realizar un seguimiento de los avances que se obtienen, a medida que el proyecto crece y se ejecuta cada una de las actividades colaborativas correspondientes a la guía de PMBOK.

#### 5. MODELO DE EVALUACIÓN

El modelo de evaluación está constituido por una serie de instrumentos de medición basados en la ingeniería colaborativa, los cuales permiten validar si el modelo de referencia diseñado cumple y permite ejecutar de forma adecuada cada uno de los pasos planteados por PMBOK. El modelo de evaluación

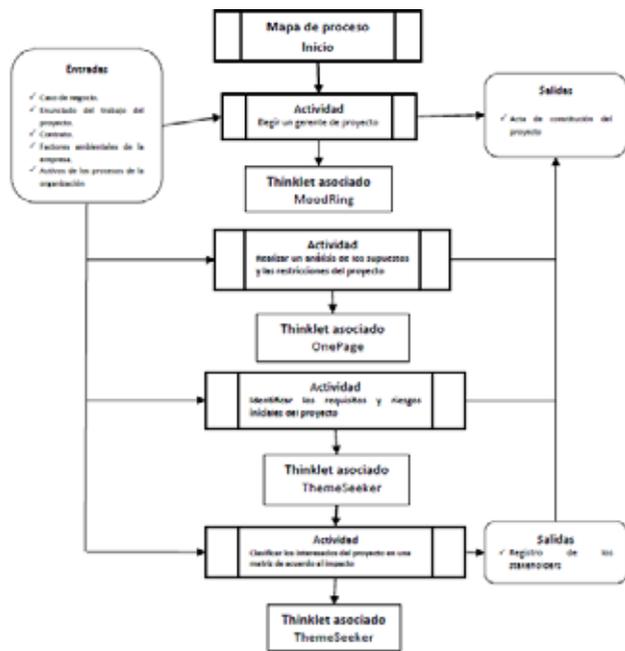


Fig. 3. Mapa de procesos del grupo inicial de PMBOK

consta de dos instrumentos: la bitácora de ejecución y el índice de conclusiones y evidencia.

El mecanismo utilizado para validar el modelo de referencia se basa sobre la ejecución de dos etapas planteadas para el desarrollo del modelo de evaluación: (i) la evaluación de alcance de actividades y (ii) la validación de resultados alcanzados.

- *Evaluación de alcance de actividades:* este proceso se desarrollará por un experto en evaluación de tareas colaborativas, junto con el gerente del proyecto. Para esta tarea se utilizará el instrumento requerido para el modelo de evaluación denominado “Bitácora de ejecución”, el cual permite obtener un plan de trabajo de cada una de las actividades definidas para el proceso de gestión de proyectos. La tabla 1 refleja la asignación de valores de criterios colaborativos usados en la bitácora de ejecución [8].
- *Validación de resultados alcanzados:* este proceso garantizará que los resultados obtenidos por cada uno de los roles definidos estén siendo controlados, con el fin de conocer el estado tanto de las responsabilidades asignadas como de las evidencias elaboradas por cada uno de los actores del proceso. Para elaborar esta tarea se cuenta con un instrumento de-

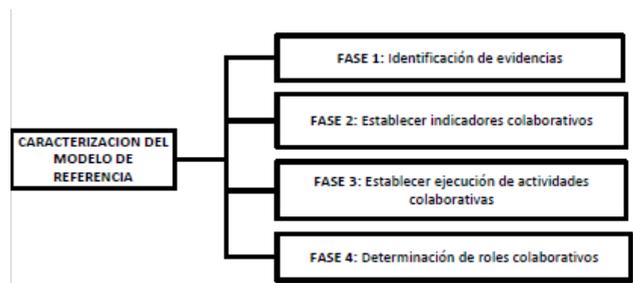


Fig. 4. Caracterización del modelo de referencia

nominado “Índice de conclusiones y evidencias”, el cual consigna las observaciones y recomendaciones obtenidas por la evaluación de expertos y del mismo gerente de proyecto sobre el estado parcial o final de los resultados alcanzados durante el desarrollo del proyecto.

El diligenciamiento del instrumento “Índice de conclusiones y evidencias” es la última tarea del proceso de evaluación, antes de la reunión final para la socialización de resultados al grupo de trabajo, reunión donde no sólo se discuten los problemas encontrados, sino que se destacan los logros alcanzados y se documentan las experiencias adquiridas y recomendaciones pertinentes para un próximo proyecto. El acta de cierre de proyecto es un documento propio de PMBOK que permite consignar estos elementos, por lo tanto no se requiere de un instrumento extra para este fin.

La elaboración del Índice de conclusiones y evidencias, demanda tanto un estudio y análisis exhaustivo de los logros alcanzados en trabajo colaborativo de las actividades del proceso de gestión, como la valoración del grado de trabajo en equipo de los distintos actores, identificados por un rol en un grupo de proceso específico. De igual modo, la calificación del desarrollo de cada una de las evidencias o documentos generados a lo largo del proyecto, se debe ejecutar al final del proceso de mejora, esta calificación permite conocer si realmente el equipo de trabajo reconoce, adquiere, apropia y ejecuta cada una de las técnicas de la ingeniería colaborativa para el desarrollo de documentos, tareas, procesos y nuevo conocimiento en el ejercicio de la gerencia de proyectos. La tabla 1 muestra un resumen de los rangos de calificación usados para la validación de actividades, responsabilidades y evidencias del proceso ejecutado a lo largo del proyecto.

Tabla 1. Valoración de criterios colaborativos

Valoración	Descripción
Aplicado	El criterio es altamente conocido por el grupo de apoyo, los valores de comportamiento colaborativo son ejecutados según las reglas de negocio y las evidencias son reflejo de del proceso aprendido.
Identificado	El criterio aun esta en proceso de aprendizaje, el grupo de apoyo no refleja en su totalidad elementos y conceptos del procesos colaborativo, las evidencias requieren de mayor trabajo en conjunto, existe aun inconvenientes de comunicación y sincronización.
Inexistente	Los conceptos y elementos de trabajo colaborativo aun son desconocidos por el grupo de apoyo, las evidencias reflejan que los roles y las tareas asignadas no se han cumplido en tu totalidad.

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Las conclusiones que se pueden definir después de aplicar las diferentes técnicas de ingeniería colaborativa al proceso de mejora en la gestión de proyectos, están enfocadas a describir la experiencia obtenida durante el diseño y definición de dichas estrategias. La adecuación de técnicas y componentes de la ingeniería colaborativa a contextos de gestión de proyectos, implica identificar en primera instancia cuál será la metodología más adecuada para dicho ejercicio, lo que requiere de un estudio comparativo detallado que permita determinar el grado de acople y asociación que se adquiere con cada uno de los requerimientos de la ingeniería colaborativa.

La identificación de componentes homólogos entre las disciplinas de la mejora de procesos y la gestión de proyectos, así como la integración de elementos de trabajo colaborativo como roles, grupos de trabajo, responsabilidades, entre otras, es una tarea que requiere de la participación interdisciplinar de expertos en áreas como la administración de proyectos, evaluadores en procesos colaborativos, desarrolladores, analistas de sistemas, etcétera. En otras palabras, requiere que diferentes personas enfoquen sus esfuerzos hacia el logro de objetivos comunes, realizando actividades individuales y grupales. La experiencia en las disciplinas anteriormente mencionadas, es un factor preponderante al momento de determinar si un elemento o concepto es apropiado o no para integrarse o tenerse en cuenta cuando se desea acoplar distintas áreas de conocimiento.

El uso de procesos colaborativos (*thinklets*) propuestos en la ingeniería de colaboración, pueden ser utilizados como mecanismos de comunicación adecuada

Tabla 2. Resumen de los rangos de calificación de actividades, responsabilidades y evidencias colaborativas.

Valoración de responsabilidades colaborativas	
(A) Aprobado	El director de proyecto, una vez verificado el cumplimiento de las tareas asignadas al responsable, determina que cada una de las tareas asignadas al rol, han sido cumplidas en su totalidad. Este valor representa que el responsable ha realizado de manera oportuna y eficaz cada una de las tareas asignadas y su interacción con otros grupos del proceso ha sido satisfactoria.
(R) Re-probado	El director de proyecto, una vez verificado el cumplimiento de las tareas asignadas al responsable, encuentra que aún las tareas asignadas al responsable no se han cumplido en su totalidad y se espera que al finalizar la actividad se culmine de la mejor manera el trabajo asignado.
(E) En ejecución	Una actividad aún no ha sido culminada y se espera la terminación de los resultados finales. La evaluación de este estado requiere determinar el grado de colaboración que la actividad ha permitido desde su inicio hasta el momento de la evaluación.
(C) Concluida	La actividad ha sido cumplida en su totalidad y los resultados obtenidos serán evaluados hasta ese momento. Las observaciones y conclusiones son descritas una vez comparadas frente a otros criterios ofrecidos por instrumentos del modelo de referencia, como el de asignación de <i>thinklets</i> el cual verifica el grado de colaboración de una actividad, entre otros.
(D) En desarrollo	El documento, producto de la ejecución de una actividad no ha cumplido con la totalidad de los requisitos establecidos en el documento del alcance de proyecto. Se fija un acta donde se declaran los requisitos faltantes de la evidencia.
(F) Finalizado	Se verifica que se ha cumplido con la totalidad de los requisitos expuestos en el plan de alcance del proyecto. Este documento debe estar respaldado con las firmas de los actores involucrados en su desarrollo.

dos entre los diferentes roles que interactúan durante la ejecución de las técnicas colaborativas integradas a una metodología de gestión de proyectos como PMBOK. Estos procesos colaborativos especifican el conjunto de actividades tanto individuales como grupales que se deben desarrollar para alcanzar objetivos comunes.

Como trabajo futuro, se llevará a cabo la implementación del marco definido en dos estudios de caso dispersos geográficamente, donde la implementación de los aspectos y técnicas colaborativas sean una característica fundamental para validar la propuesta definida. Asimismo, se llevará a cabo el análisis de las lecciones aprendidas. Esto permitirá refinar aún más el marco propuesto.

## REFERENCIAS

- [1] M. Gea, J. L. Garrido, F.L. Gutiérrez, R. Cobos and X. Alaman, "Representación del comportamiento dinámico en modelos colaborativos: aplicación a la gestión del conocimiento compartido," *Inteligencia Artificial - AEPIA*, vol. 8, No. 24, pp. 87-95, 2004.
- [2] J. Correa and F. Jaramillo, "Gestión y control del estado de las Pymes Iberoamericanas", *Diplomado en actualización de los procesos de gestión en la Pymes Latinoamericanas*. Medellín, Colombia: Grupo de Investigación Consupyme, Universidad de Antioquia, 2008.
- [3] M. D. Dapena, I. Chávez Valiente and Y. López Trujillo, "Aplicación del modelo Mgrsoft en la reutilización de revisiones a requisitos de software," *Revista Ingeniería Industrial*, vol. 9, No. 1, pp. 23-36, 2010.
- [4] W. J. Giraldo Orozco, "Marco de desarrollo de sistemas groupware interactivos basado en la integración de procesos y notaciones," Tesis Doctor en Informática, Universidad de Castilla - La Mancha, España, 2010.
- [5] A. Guicking, P. Tandler and P. Avgeriou, "Agilo: A highly flexible groupware framework," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3706, pp. 49-56, 2005.
- [6] D. W. Johnson, R. T. Johnson and E. J. Holubec, *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Buenos Aires: Paidós.
- [7] J. L. Jurado and C. A. Collazos, "Integración de técnicas colaborativas a procesos de gestión de proyectos informáticos," *Sistemas y Telemática S&T*, vol. 10, No. 23, pp. 65-81, 2012.
- [8] J. L. Jurado, "Mejora de procesos en la gestión de proyectos software, desde la perspectiva de la ingeniería de la colaboración para micro y pequeñas empresas en desarrollo de software," Tesis de Magíster en Computación, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, 2012.
- [9] A. Mas and E. Amengual, "La mejora de los procesos de software en las pequeñas y medianas empresas (pyme). Un nuevo modelo y su aplicación a un caso real," *REI-CIS, Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, vol. 1, No. 2, pp. 7-29, 2005.
- [10] A. Solano Alegría, Y. Méndez Alegría and C. Collazos Ordóñez, "Thinklet: elemento clave en la generación de métodos colaborativos para evaluar usabilidad de software," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 20, No. 2, pp. 87-106, 2010.
- [11] L. Merchán Paredes and D. A. Gómez Mosquera, "Gestión de la configuración: validación de un modelo liviano para pequeñas empresas desarrolladoras de software," *Entramado*, vol. 7, No. 1, pp. 190-201, 2011.
- [12] A. Paiva, J. E. Varajão, C. Domínguez and P. Ribeiro, "Principales factores en la evaluación del éxito de proyectos de desarrollo de software. ¿Existe alguna relación con lo que se considera en otros sectores?," *Inter-ciencia: Revista de Ciencia y tecnología de América*, vol. 36, No. 3, pp. 200-204, 2011.
- [13] F. J. Pino, F. García and M. Piattini, "Software process improvement in small and medium software enterprises: a systematic review," *Software Quality Journal*, vol. 16, No. 2, pp. 237-261, 2008.
- [14] Project Management Institute, PMI, *A Guide to the project management body of knowledge [PMBOK® Guide]*. 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia, Pennsylvania, USA: Project Management Institute, 2009.
- [15] D. Vásquez, C. Pardo, C. A. Collazos and F. J. Pino, "Modelo liviano de medidas para evaluar la mejora de procesos de desarrollo de software MLM-PDS," *Revista Ingeniería y Ciencia*, vol. 6, No. 12, pp. 171-201, 2010.
- [16] M. Sosa, R. Zarco and A. Postiglioni, "Modelado de aspectos de grupo en entornos colaborativos para proyectos de TI," *Revista Informática Educativa y Medios Audiovisuales, RIEMA*, vol. 3, No. 7, pp. 22-31, 2006.
- [17] G. J. Vreede and R. O. Briggs, "Collaboration engineering: designing repeatable processes for high-value collaborative tasks," in *38th Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS-38*, 2005.

## REDES SOCIALES: APROXIMACIÓN A UN ESTADO DEL ARTE

### NETWORKS : APPROACH TO A STATE OF THE ART

**Juan Carlos Monsalve-Gómez, Ph.D(c)**

*Grupo de Investigación SISCO,  
Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia  
juan.monsalvego@amigo.edu.co*

**Luz Amparo Granada-de-Espinal, Esp.**

*Facultad de Derecho,  
Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia  
luz.granadade@amigo.edu.co*

(Recibido el 01-05-2013. Aprobado el 30-06-2013)

**Resumen.** Este artículo presenta una revisión de estado del arte sobre las redes sociales, con una aproximación a aspectos relacionados con su impacto en el ámbito educativo, con un énfasis especial en la red social Facebook debido al crecimiento que esta ha tenido en los últimos años. El uso de las redes sociales es cada vez más difundido en el ámbito educativo y es importante, atendiendo a esta realidad, realizar estudios sobre sus posibilidades de uso, impacto y aspectos a mejorar.

El texto presenta diferentes miradas de las redes sociales: como espacios de comunicación, su uso en diferentes niveles educativos, espacios de trabajo colaborativo, como apoyo a la investigación y la formación de maestros, entre otros, y realiza, al final, un análisis sobre los diferentes usos de las redes sociales en el ámbito educativo y, para terminar, un análisis sobre el uso de aplicativos educativos al interior de las redes sociales.

**Palabras clave:** Redes sociales, Facebook, educación, comunicación, mediación, investigación, universidad.

**Abstract.** This article presents an overview of the state of the art on social networking, with an approach to issues related to its impact in education, with a special emphasis on the social network Facebook due to the growth that this has had in recent years. The use of social networking is increasingly popular in education and it is important, in response to this reality, studies on their usability, impact and areas for improvement.

The text presents different views of social networks as communication spaces, their use in different educational levels, collaborative workspaces, and support research and training of teachers, among others, and performed at the end, an analysis of different uses of social networking in education, and finally, an analysis concerning the use of educational applications within social networks.

**Keywords:** Social Networks, Facebook, education, communication, mediation, research, university.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo es parte del proyecto de investigación titulado *Impacto pedagógico de la utilización de aplicativos educativos incorporados a las redes sociales: el caso de Facebook como espacio al servicio de la formación* y busca presentar una revisión del estado del arte, desde el año 2009, en cuanto al uso de las redes sociales en el ámbito educativo. Se pretende mostrar, además, la ausencia de investigaciones en cuanto al uso de aplicativos educativos al interior de las redes sociales.

Las tecnologías de la información y la comunicación han sido ampliamente utilizadas en el ámbito educativo, en todos los niveles, áreas de conocimiento y desde diferentes ópticas, pueden verse trabajos como los realizados sobre la figura del tutor en el aprendizaje en línea [1], acerca del uso de objetos de aprendizaje en la enseñanza de las matemáticas [2], referentes a la utilización de foros virtuales [3], reflexiones sobre el uso de las redes sociales en el ámbito universitario [4], [5], [6], para citar algunos ejemplos de la gran cantidad de campos de estudio que tiene en la actualidad el uso de TIC en educación.

Después de la masificación en el uso de las redes sociales algunos docentes han mostrado una preocupación por su uso en el ámbito educativo [7] existe una preocupación permanente, entre los profesores [8] por lograr una implementación efectiva de estas como lo menciona [9]: "La alta tasa de crecimiento de redes sociales hace emerger un aspecto importante que es la formación educativa de sus usuarios estudiantiles." Como resultado esencial en la actualidad del desarrollo tecnológico, también ocupan un lugar privilegiado en la planeación didáctica de muchos de los currículos de aquellos docentes que desean mejorar su práctica educativa a través del apoyo en mediaciones tecnológicas [10], [11].

La primera parte del artículo presenta una revisión del estado del arte, haciendo un énfasis especial en experiencias y análisis sobre el uso de las redes sociales en el ámbito educativo: espacios de comunicación, como apoyo para el trabajo colaborativo, a labores de investigación, de formación de maestros, etc.

En una segunda parte se presenta una análisis de la revisión previa, a partir de una clasificación de las publicaciones encontradas por temáticas y años de publicación para mostrar la tendencia en el aumento de investigaciones en esta línea de trabajo.

Al final del artículo, la tercera parte presenta la discusión y trabajo futuro, partiendo de una propuesta de software educativo para ser utilizado en redes sociales, además de algunas conclusiones relacionadas con el ejercicio de búsqueda y análisis.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 El potencial comunicativo de las redes sociales

Una de las principales características de las redes sociales es el potencial comunicativo [12], si bien son muchas las razones por las cuales las personas utilizan la red social Facebook [13], esta capacidad para servir como canal de comunicación en el ámbito educativo es un tema que llama poderosamente la atención. En el trabajo realizado por [14] se muestra un análisis del uso de Facebook como espacio para la comunicación a partir de la discusión de los temas propuestos en diferentes cursos [15]. Dicho análisis tuvo en cuenta aspectos como la interacción, lo social, elementos cognoscitivos, entre otros, y se realizó sobre la función de comunicación de la red social sin tener en cuenta el uso de aplicaciones adicionales [16]. Este último trabajo presenta la experiencia de docencia universitaria mediada por un espacio creado al interior de la red social Facebook, una experiencia de uso de Facebook como mediador en el proceso pedagógico: a través del "muro" que ofrece esta aplicación se genera una dinámica de comunicación asincrónica con los estudiantes; las posibilidades didácticas de este tipo de recursos las define el docente desde el dominio de su área.

El gusto que demuestran los jóvenes por el uso de las redes sociales como espacio de comunicación, es reafirmado por investigaciones como la realizada por [17], [18]. En esta última se expone que "el 80,6 % de los entrevistados dice que Facebook es la plataforma tecnológica para redes sociales que más utilizan" [18]. Pero no solamente los jóvenes hacen uso de las redes sociales como espacios de comunicación, los adultos igualmente hacen uso de estas; en [19] se muestra, por ejemplo, un estudio realizado sobre las características de los adultos que utilizan esta red. Lo anterior permite reforzar la necesidad de continuar realizando investigaciones que aporten al mejoramiento de las didácticas específicas en cada curso o asignatura mediados por el uso de estos recursos. Uno de los resultados más importantes que ofrece esta investigación tiene que ver con el nivel de participación de los estudiantes en el espacio virtual, los estudiantes que tuvieron un nivel de participación

más alto en la clase presencial, demuestran también altos niveles de interacción en el espacio virtual. Es importante, asimismo, mostrar en este artículo proyectos en los cuales se busca la incorporación de las redes sociales en las bibliotecas. Los resultados de una investigación en Malasia [20] muestran el uso de Facebook en diferentes bibliotecas, como herramienta de comunicación que permite, en este caso, la interacción de los usuarios con la biblioteca.

### **2.2 Redes sociales en diferentes niveles educativos**

Como se mencionó anteriormente, las redes sociales juegan un papel fundamental en la educación. En diferentes niveles educativos, estas vienen siendo implementadas, en la mayoría de los casos con fines comunicativos: el muro, la mensajería y otras herramientas que Facebook tiene, tanto para la comunicación sincrónica como asincrónica, vienen siendo exploradas desde diferentes asignaturas, en la básica secundaria, media académica y en formación profesional universitaria. Éste es el caso, por ejemplo de [21]; donde se realiza un estudio comparativo entre estudiantes y profesores para conocer la realidad sobre el uso de Facebook con fines académicos y personales.

### **2.3 Las redes sociales como espacio para la construcción colaborativa**

Las redes sociales han jugado un rol importante en el trabajo colaborativo. Así lo expone García Sans [22]: “Dos son los aspectos que más hay que destacar de la red social a la hora de trabajar de manera cooperativa: el grado de implicación de los alumnos en la red y la posibilidad de crear grupos cerrados de trabajo.” Además [23] explora el potencial de apoyo a las dinámicas de construcción en equipo que brindan las redes sociales a través de elementos como la creación de grupos en Facebook a partir del trabajo con una experiencia real. Este proceso se apoya en elementos como el chat, los foros, el uso de videos, etc., todos con fines colaborativos.

### **2.4 Redes sociales e investigación**

Las diferentes herramientas de comunicación con las cuales cuenta la red social permiten establecer comunicación sincrónica y asincrónica para la asesoría a estudiantes que se encuentran realizando sus actividades investigativas [24]. Si bien se usan con un fin comunicativo, dicho fin permite la orientación de procesos investigativos.

### **2.5 Redes sociales y formación de maestros**

Si se habla de redes sociales en el ámbito educativo no se puede olvidar la presencia de estas en la formación de los futuros maestros [25]. Los docentes en formación que usan las redes sociales, pero también reflexionan sobre sus posibilidades educativas, tendrán a cargo el diseño de estrategias educativas que logren una implementación pertinente de estos recursos al interior del proceso educativo.

### **2.6 Otros estudios sobre las redes sociales**

Las investigaciones sobre el uso de las redes sociales no se limita al ámbito educativo; aunque el tema central del presente artículo tiene relación directa con este tópico, es importante, para mostrar su impacto en la dinámica social y en la vida de cada uno de sus usuarios, sugerir que los demás miembros que conforman el ambiente escolar aborden de manera so-mera investigaciones realizadas desde otras ópticas.

Como puede verse en [26], [27], [28] la preocupación por las redes sociales no se da solamente desde lo instrumental, desde sus posibilidades de uso o perfiles de usuario. Así mismo hay una gran preocupación por el papel que estas juegan en aspectos emocionales de la persona, “La popularidad de las interacciones sociales online (sic) entre los jóvenes ha generado diversas interrogantes, entre ellas, cómo y en qué grado afectan estas nuevas modalidades de socialización el desarrollo de la afectividad” [26]. Los usuarios que interactúan con las redes sociales tienen diferentes niveles de autoestima, de construcción de identidad [29] estos influyen, también, en el mundo académico, en la educación.

Las redes sociales, además de permitir indagar sobre aspectos relacionados con la emoción y autoestima de las personas, también permiten evaluar la expresión, tanto personal como cultural, a través de las dinámicas que se dan al interior de las mismas; esto se puede comprobar en [30], [31].

Una de las principales preocupaciones, al hablar en educación de redes sociales, es el tiempo que “pierden los estudiantes” cuando interactúan en este tipo de medios, en [32], por ejemplo, se presenta un estudio sobre la relación del ocio con las redes sociales. Es importante establecer estrategias al interior de las instituciones, para hacer de las redes sociales un aliado que ayude a fortalecer la calidad del proceso educativo a partir de la sana interacción que tenga el estudiante con estos medios.

Tabla 1. Áreas de investigación relacionadas con redes sociales

PUBLICACIÓN	TEMÁTICA	AÑO
[35]	Redes sociales y escritura	2010
[36]	Redes sociales y explotación de jóvenes	2011
[37]	Uso de Facebook y sensibilidad al rechazo en estudiantes universitarios	2011
[38]	¿Por qué usar Facebook?	2011
[39]	Redes sociales y calidad de vida	2012
[40]	Uso de Facebook en estudiantes	2012
[41]	Construcción de identidad en Facebook	2012
[42]	Rendimiento académico de usuarios de Facebook	2012
[43]		2012
[44]	Características de usuarios de Facebook	2012
[45]	Influencia de la personalidad en la interacción en Facebook	2012
[46]		2012
[47]	Aspectos psicológicos en usuarios de redes sociales	2013
[48]		
[49]	Facebook y estudiantes en situación de riesgo	2013
[50]	Percepción de los estudiantes sobre uso académico de Facebook	2014

Se encuentran también trabajos como [33] en el cual se abordan aspectos como la frecuencia de uso de Facebook y el nivel de participación de los estudiantes. Este tipo de investigaciones aporta datos que permiten reforzar la hipótesis de que las redes sociales son el espacio de comunicación por excelencia, en la actualidad, de la mayoría de los jóvenes y es, precisamente en estos espacios, donde se debe propiciar el diseño de ambientes educativos.

Estas redes sociales, además de posibilitar la comunicación con personas de todo el mundo, permiten conocer, en cierta medida, aspectos relacionados con la otra persona: sus gustos, qué hace, qué lugares visita, con qué personas comparte el tema de la privacidad en las redes sociales [34] es un aspecto que ha comenzado también a ser investigado.

En la tabla 1 se presentan otras publicaciones relacionadas con redes sociales:

### 3. ANÁLISIS

En la tabla 2 se muestra una síntesis de los estudios presentados hasta el momento y se realiza una clasificación por temática y año de publicación, con un énfasis especial en el aspecto educativo.

Todas las investigaciones encontradas hasta la fecha se han realizado sobre las diferentes herramientas que tiene la red social y sobre sus posibilidades de uso en diferentes cursos, niveles educativos y contextos. Existe un énfasis especial en el uso de las redes sociales como herramientas de comunicación, pero ninguna de las investigaciones encontradas muestra resultados de investigación o análisis realizados sobre el uso de aplicaciones de diseño propio de los autores.

En la figura 1 aparece de manera más clara la cantidad de publicaciones por temática y año; puede evidenciarse en el listado de temáticas que no aparecen publicaciones relacionadas con el uso de materiales educativos al interior de las redes sociales.

El diseño de un software educativo propio permite responder a necesidades de formación específicas y desde la óptica del equipo experimentado que lo diseña. Generalmente las aplicaciones que se encuentran al interior de las redes sociales no se diseñan con fines educativos, sino como medios generales de comunicación o de interacción, pero no formativos, ni mucho menos se hallan aplicaciones educativas para la formación en temas específicos. En la figura 2 se muestran las tendencias de investigación en la red social.

Tabla 2. Distribución de publicaciones por temática y año relacionadas con el uso de redes sociales en el ámbito educativo, haciendo énfasis en los análisis y propuestas de uso de Facebook como la red social con mayor cantidad de usuarios en el momento.

Temática / año	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Comunicación			[18]	[20]	[19][14] [16] [17]	
Investigación					[24]	
Colaboración	[22]					[23]
Usos de redes sociales			[11]		[9][10]	[5] [6]
Formación de maestros					[25]	
Otros estudios	[29]	[28] [13] [4]		[34]	[26][30] [31] [33]	[32] [27]
Niveles educativos			[21]			



Fig 1. Cantidad de publicaciones por temática y año



Fig 2. Tendencias en investigación sobre el uso de redes sociales, tanto en el ámbito educativo como en otros tópicos

Otro aspecto que vale la pena destacar es el aumento significativo que ha tenido el interés sobre el uso educativo de las redes sociales, en especial en los últimos años. Este aumento evidencia, además del interés, cada vez más creciente, sobre el uso de las redes sociales, la necesidad de realizar investigaciones fundamentadas y que respondan a principios técnicos así como a una fundamentación pedagógica y didáctica seria.

#### 4. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Después de realizado el estado del arte en cuanto al uso de Facebook en el ámbito educativo, no se encuentran trabajos que aborden el diseño de aplicaciones educativas para dicha red. De acuerdo con lo anterior se hace necesario pensar en el diseño de software educativo que funcione al interior de las redes sociales, pues es este el espacio de socialización por excelencia en el cual los estudiantes permanecen una gran cantidad de tiempo.

Como parte del presente proyecto se trabaja, en la actualidad, en el diseño de un prototipo de software educativo que funcione al interior de la red social Facebook. Este tipo de recursos deben buscar objetivos formativos claramente definidos desde el comienzo, buscando el desarrollo de habilidades de pensamiento en el estudiante y el fortalecimiento de didácticas específicas definidas según el campo de trabajo de los investigadores, el cual es, para el caso particular, el desarrollo de estrategias de estudio que apoyen la formación en ambientes educativos presenciales.

#### 5. CONCLUSIONES

- Existe una gran cantidad de investigaciones en torno a las redes sociales; algunas de las aplicaciones de estas tienen que ver con la generación de espacios de comunicación, el apoyo a cursos y la aplicación en diferentes niveles educativos. Además, investigaciones relacionadas con los usuarios: su nivel de formación, características personales, impacto de la interacción con las redes sociales en su desarrollo, etc.
- Hay un gran campo por explorar frente a la aplicación de las redes sociales, Facebook en este caso concreto, en las didácticas específicas.

- Para lograr una adecuada implementación de redes sociales en el ámbito educativo es fundamental realizar un trabajo interdisciplinario con profesionales de campos como la psicología y la ingeniería para garantizar productos de calidad que brinden formación efectiva a personas con estilos y tipos de aprendizaje diferentes.

#### REFERENCIAS

- [1] D. Benito Osorio, "Aprendizaje en el entorno del *e-learning*: estrategias y figuras del e-moderador," *Revista de Universidad y Sociedad de Conocimiento*, vol. 6, No. 2, 2009.
- [2] F. J. Córdoba Gómez, H. J. Herrera Mejía and C. M. Restrepo Restrepo, "Impacto del uso de objetos de aprendizaje en el desempeño en matemáticas de estudiantes de grado noveno," *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, No. 39, pp. 47-58, 2013.
- [3] E. Durá Martínez, "La introducción del foro virtual en la asignatura de informática II en biblioteconomía y Documentación," *Revista d'innovació educativa*, No. 4, pp. 73-76, 2010.
- [4] T. A. Pempek, Y. A. Yermolayeva and S. L. Calvert, "College students' social networking experiences on Facebook," *Journal of Applied Developmental Psychology*, vol. 30, p. 227-238, 2009.
- [5] J. M. Gómez, "Las redes sociales en la educación universitaria," *XV Congreso Internacional de Informática en la Educación*, pp. 1-7, 2013.
- [6] M. Rama and A. Chiecher, "El potencial educativo de Facebook en la Universidad," *Revista Contextos de Educación*, pp. 46-55, 2013.
- [7] S. Güzin Mazman and Y. Koçak Usluel, "Modeling educational usage of Facebook," *Computers & Education*, vol. 55, No. 2, pp. 444-453, 2010.
- [8] K. Foon Hew, "Students' and teachers' use of Facebook," *Computers in Human Behavior*, vol. 27, No. 2, pp. 662-676, 2011.
- [9] P. Avendaño, I. Casanovas, J. P. García, J. Gardella, P. Politi and P. Saires, "La intención de uso educativo de las redes sociales en el ámbito universitario," *Jornadas de enseñanza de la Ingeniería*, vol. 1, No. 2, pp. 24-27, 2012.

- [10] R. de F. Suárez Améndola, M. E. López Ponce, N. Gracia Gracia and L. H. May Hernández, "Facebook y Moodle en la educación presencial," *Fomix campeche Revista*, No. 20, pp. 17-20, 2012.
- [11] A. Piscitelli, I. Adaime and I. Binder, *El proyecto Facebook y la posuniversidad. Sistemas operativos sociales y entornos abiertos de aprendizaje*, Barcelona: Ariel, 2010.
- [12] H. Omar, M. A. Embi and M. M. Yunus, "Learners' Use of Communication Strategies in an Online Discussion via Facebook," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 64, pp. 535-544, 2012.
- [13] A. Nadkarni and S. G. Hofmann, "Why do people use Facebook?," *Personality and Individual Differences*, vol. 52, pp. 243-249, 2012.
- [14] A. Ponce-Rojo, L. Hernández-Vega, J. Hernández-Contreras and J. S. Fernández Rodríguez, "Análisis de contenido de las interacciones en línea en cursos de pregrado usando Facebook en una modalidad de *Blended Learning*," *Sinéctica: Revista electrónica de educación*, No. 39, 2012.
- [15] A. A. Alias, N. A. Ab Manan, J. Yusofa and A. Pandiana, "The Use of Facebook as Language Learning Strategy (LLS) Training Tool on College Students' LLS Use and Academic Writing Performance," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 67, pp. 36-48, 2012.
- [16] M. Túnez López, "Las redes sociales como entorno docente: análisis del uso de Facebook en la docencia universitaria," *Píxel-Bit: Revista de medios y educación*, No. 41, pp. 77-92, 2012.
- [17] A. M. Urbán Hernández, "Análisis de las prácticas comunicativas en Facebook," *Memoria: XXIV Encuentro Nacional AMIC - Saltillo, Coahuila*, México, pp. 195-211, 2012.
- [18] L. San Martín and S. Mujica, "Redes sociales: la nueva forma de comunicación de los jóvenes universitarios," Arequipa, 2010.
- [19] E. Flores Rodríguez, "Adultos y facebook," *Memoria: XXIV Encuentro Nacional AMIC - Saltillo, Coahuila*, México, pp. 85-93, 2012.
- [20] A.R. Riza Ayu and A. Abrizah, "Do you Facebook? Usage and applications of Facebook pages among academic libraries in Malaysia," *The International Information & Library Review*, vol. 43, pp. 239-249, 2011.
- [21] M. Roblyer, M. McDaniel, M. Webb, J. Herman and J. V. Witty, "Findings on Facebook in higher education: A comparison of college faculty and student uses and perceptions of social networking sites," *Internet and Higher Education*, vol. 13, pp. 134-140, 2010.
- [22] A. García Sans, "Las Redes Sociales como herramienta para el aprendizaje colaborativo: una experiencia con Facebook," *Revista RE - Presentaciones, Periodismo, Comunicación y Sociedad*, No. 5, pp. 49-59, 2008.
- [23] G. Álvarez and M. López, "Análisis del uso de Facebook en el ámbito universitario desde la perspectiva del aprendizaje colaborativo a través de la computadora," *Edutec Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, No. 43, pp. 1-15, 2013.
- [24] E. O. Aguilar-Morales and J. E. Aguilar-Morales, "El uso de las redes sociales en las asesorías de tesis," *Centro Regional de Investigación en Psicología*, vol. 6, No. 1, pp. 139-143, 2012.
- [25] M. E. del Moral Pérez and L. Villalustre Martínez, "Presencia de los futuros maestros en las redes sociales y perspectivas de uso educativo," *Revista latinoamericana de Tecnología Educativa*, vol. 11, No. 1, pp. 41-51, 2012.
- [26] J. L. López Aguirre, "Estudio sobre la influencia de facebook en la configuración de la autoestima de jóvenes mexicanos," *Memoria: XXIV Encuentro Nacional AMIC - Saltillo, Coahuila*, México, pp. 183-194, 2012.
- [27] G. Seidman, "Self-presentation and belonging on Facebook: How personality influences social media use and motivations," *Personality and Individual Differences*, vol. 54, pp. 402-407, 2013.
- [28] C. Ross, E. S. Orr, M. Sisis, J. M. Arseneault, M. G. Simmering and R. Orr, "Personality and motivations associated with Facebook use," *Computers in Human Behavior*, vol. 25, pp. 578-586, 2009.
- [29] S. Zhao, S. Grasmuck and J. Martin, "Identity construction on Facebook: Digital empowerment in anchored relationships," *Computers in Human Behavior*, vol. 24, p. 1816-1836, 2008.
- [30] G. Pérez Salazar, J. Carabaza González, A. Aguilar Edwards and J. M. Alanís, "Uso de imágenes en los perfiles de usuarios de Facebook: el caso de la región sureste de Coahuila," *Memoria: XXIV Encuentro Nacional AMIC - Saltillo, Coahuila, México*, pp. 222-235, 2012.

- [31] A. Farías Ochoa, "Jóvenes universitarios de Michoacán y la construcción de ciudadanía a través de la comunidad virtual *Soy y quiero ser* en Facebook," *Memoria: XXIV Encuentro Nacional AMIC - Saltillo, Coahuila.*, pp. 731-740, 2012.
- [32] J. F. Chipia Lobo, "Redes sociales virtuales para la educación y el cambio del ocio digital al ocio productivo," *Revista de Tecnología de Información y Comunicación en Educación*, vol. 7, No. 1, pp. 131-142, 2013.
- [33] R. Junco, "The relationship between frequency of Facebook use, participation in Facebook activities, and student engagement," *Computers & Education*, vol. 58, pp. 162-171, 2012.
- [34] M. Qi and D. Edgar-Nevill, "Social networking searching and privacy issues," *Information Security Technical Report*, vol. 16, pp. 74-78, 2011.
- [35] G. Maranto and M. Barton, "Paradox and Promise: MySpace, Facebook, and the Sociopolitics of Social Networking in the Writing Classroom," *Computers and Composition*, vol. 27, No. 1, pp. 36-47, 2010.
- [36] E. Quayle and M. Taylor, "Social networking as a nexus for engagement and exploitation of young people," *Information Security Technical Report*, vol. 16, pp. 44-50, 2011.
- [37] H. A. Farahania, S. Aghamohamadi and Z. Kazemib, "Examining the relationship between sensitivity to rejection and using Facebook in university students," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 28, pp. 807-810, 2011.
- [38] N. Dogruer, I. Meneviş and R. Eyyam, "What is the motivation for using Facebook?," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 15, pp. 2642-2646, 2011.
- [39] N. Dina, S. Yahyab and R. S. Raja Kassimc, "Online Social Networking for Quality of Life," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 35, pp. 713-718, 2012.
- [40] A. Isman and K. Ucun, "Objectives of the students use general and vocational education students to Facebook," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 55, pp. 1-10, 2012.
- [41] L. A. Shafiea, S. Nayanb and N. Osmanc, "Constructing Identity through Facebook Profiles: Online Identity and Visual Impression Management of University Students in Malaysia," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 65, pp. 134-140, 2012.
- [42] N. Dina, S. Yahyab and S. Haronc, "Information Retrieval and Academic Performance among Facebook Users," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 68, pp. 258-268, 2012.
- [43] R. Junco, "Too much face and not enough books: The relationship between multiple indices of Facebook use and academic performance," *Computers in Human Behavior*, vol. 28, No. 1, pp. 187-198, 2012.
- [44] F. T. McAndrew and H. S. Jeong, "Who does what on Facebook? Age, sex, and relationship status as predictors of Facebook use," *Computers in Human Behavior*, vol. 28, No. 6, p. 2359-2365, 2012.
- [45] K. Moore and J. C. McElroy, "The influence of personality on Facebook usage, wall postings, and regret," *Computers in Human Behavior*, vol. 28, No. 1, pp. 267-274, 2012.
- [46] W. Lee, L. Xiong and C. Hu, "The effect of Facebook users' arousal and valence on intention to go to the festival: Applying an extension of the technology acceptance model," *International Journal of Hospitality Management*, vol. 31, No. 3, pp. 819-827, 2012.
- [47] A. R. Smith, J. L. Hames and T. E. Joiner, "Status Update: Maladaptive Facebook usage predicts increases in body dissatisfaction and bulimic symptoms," *Journal of Affective Disorders*, vol. 149, No. 1, pp. 235-240, 2013.
- [48] J. A. Oldmeadow, S. Quinn and R. Kowert, "Attachment style, social skills, and Facebook use amongst adults," *Computers in Human Behavior*, vol. 29, No. 3, pp. 1142-1149, 2013.
- [49] E. M. W. Ng and H. C. H. Wongb, "Facebook: More than social networking for at-risk students," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 73, pp. 22-29, 2013.
- [50] R. Arteaga Sánchez, V. Cortijo and U. Javed, "Students' perceptions of Facebook for academic purposes," *Computers & Education*, vol. 70, pp. 138-149, 2014.

## COEFICIENTES DE PRESIÓN INTERSTICIAL EN EL APARATO DE CORTE SIMPLE

### PORE PRESSURE COEFFICIENTS FOR SIMPLE SHEAR TEST

**Rubén Ángel Galindo-Aires, Ph.D**

*Departamento Ingeniería de caminos, canales y puertos  
Universidad Politécnica de Madrid, España  
ragalindoa@hotmail.com*

(Recibido el 10-10-2012. Aprobado el 20-12-2012)

**Resumen.** La actuación de cargas sobre un suelo saturado, produce, en función de la naturaleza de la sollicitación, del tipo de suelo y de las condiciones de drenaje del terreno, un incremento de la presión sobre el agua de los intersticios. Se ha abordado el estudio de la generación de dicha presión intersticial a partir de muestras de suelo blando, normalmente consolidadas, procedentes del subsuelo del Puerto de Barcelona. Para ello se han utilizado los datos de una completa campaña experimental utilizando la máquina de ensayo de corte simple, y tras la adecuada interpretación del ensayo, se identifican los aspectos que se consideran clave para el proceso de generación de presión intersticial en el suelo, según las diferentes situaciones de carga actuante. Como conclusión, se plantea la generalización de la clásica ecuación que Skempton formuló hace casi 60 años y que permite interpretar la generación de presión intersticial para el aparato de ensayo triaxial.

**Palabras clave:** Corte simple, Generación de presión intersticial, Suelos cohesivos, Parámetros Skempton.

**Abstract.** Increase in pore pressure depending on the nature of the excitation, the type of soil and the drainage conditions of the ground are generated by loads acting on a saturated soil. It has approached the study of the generation of the pore pressure from usually consolidated soft soil samples from the basement of the Port of Barcelona. Data from an adequate experimental campaign using simple shear machine have been used, and the aspects that are considered key to the process of generation of pore pressure in the soil under different loading conditions acting have been identified. In conclusion, the generalization of Skempton's classical equation (formulated almost 60 years ago) and the interpretation of the pore pressure generation for triaxial test apparatus have been proposed.

**Keywords:** Simple shear, Pore pressure generation, Cohesive soils, Skempton's parameters.

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo, en su estado natural, se encuentra en equilibrio trifásico entre las partículas de suelo y el agua más el aire que se encuentran en sus intersticios. Imaginemos un suelo donde todos los intersticios están formados únicamente por aire; en este caso, el suelo tiene una disposición de sus partículas, que al ser sometido a carga externa resultará alterada, cambiando la ubicación relativa de estas al vencerse los rozamientos existentes entre los contactos de dichas partículas. Así, encajarán unas en otras formando una nueva disposición que, para suelos inicialmente blandos (objeto de esta investigación), resultará más densa; es decir que se producirá deformación del suelo y lo hará según la magnitud de la carga actuante. Por otro lado, cuando el terreno está saturado, la carga será resistida en primera instancia por el agua, ya que el agua es prácticamente incompresible. Por su parte, al estar a presión, tratará de buscar vías de escape en el terreno, es decir, entrará en movimiento tratando de circular por los intersticios entre partículas. En función del menor o mayor tamaño de los conductos que vaya encontrando el agua en su recorrido tardará más o menos en evacuar-se de los poros, de forma que según va liberándose espacio por el agua saliente, la carga externa que había absorbido el agua va trasladándose a las partículas a través de sus contactos y se va produciendo la deformación del esqueleto del suelo, ocupando las partículas precisamente los espacios liberados por el agua. Según la naturaleza de la carga y su magnitud se producirá mayor o menor deformación y se escapará mayor o menor agua por los contornos drenantes.

La situación real en el terreno, por simplificada que sea, será tal que sobre los diferentes puntos de suelo habrá cargas desviadoras y por tanto será necesario acudir a formulaciones que puedan predecir el incremento de presión intersticial ante dichas cargas como los que formuló Skempton [1]. Sin embargo, las formulaciones existentes están limitadas a ensayos en aparatos triaxiales, no pudiéndose extender a otros muy utilizados como es el caso del aparato de corte simple; así pues, es motivación de esta investigación ampliar el conocimiento a dichos aparatos.

Por tanto, la seguridad de una obra o construcción realizada vendrá marcada, entre otros factores, por el control de asentamientos. Para llevar a cabo este propósito en suelos saturados se hace indispensable conocer la generación instantánea de presiones in-

tersticiales, ya que podremos deducir cuánta tensión se traspassa al esqueleto del suelo y el asiento que se producirá a largo plazo. Por tanto, a través del estudio presentado, se aporta una formulación que permita el conocimiento de los parámetros de presión intersticial producida en el terreno a partir de ensayos de corte simple realizados sobre muestras de suelo, extendiendo así los estudios ya conocidos sobre ensayos triaxiales que no siempre son posibles de obtener.

En el apartado 2 se realiza primeramente la descripción del método de análisis teórico de la generación de presión intersticial de los suelos, así como la descripción de las muestras y la etapa experimental. En el apartado 3 se presentan los resultados obtenidos experimentalmente, se expone una nueva formulación teórica de análisis y se proponen los nuevos parámetros de generación de presión intersticial. Por su parte, en el apartado 4 se discute la nueva formulación y parámetros a la luz de los resultados experimentales obtenidos y finalmente se presentan las principales conclusiones del trabajo en el apartado 5. Al final del documento se añaden las nuevas líneas de investigación y las referencias empleadas.

## 2. MÉTODO TEÓRICO, MUESTRAS Y EXPERIMENTACIÓN

### 2.1. Conceptos previos

Las evidencias experimentales de Wroth & Bassett [2] en el aparato de corte simple y el desarrollo de las teorías de Cambridge con los trabajos de Roscoe, Basset & Cole [3] por un lado y de Schofield & Wroth [4] por otro, permitieron el establecimiento de predicciones donde el comportamiento del suelo se hace sensible a su densidad.

Al aplicar carga tangencial a un elemento de suelo, este va deformándose no solo tangencialmente sino también volumétricamente (Fig. 1) hasta alcanzar el llamado índice de huecos crítico en el cual la muestra ha alcanzado un estado de densidad que permanece constante produciéndose en adelante únicamente deformación transversal.

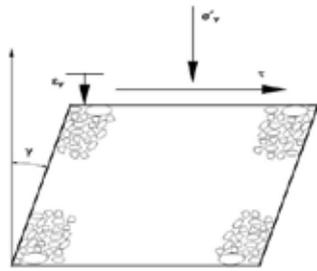


Fig. 1. Aplicación de carga de corte sobre un elemento de suelo.

Un suelo blando ante carga tangencial, disminuye su volumen haciéndose más denso hasta alcanzar dicho índice de huecos crítico, mientras que un suelo denso aumentará su volumen para alcanzar dicho índice (así se representa en la Fig. 2 y 3, donde  $\Delta V$  es el incremento de volumen,  $\Delta x$  es el desplazamiento transversal en el punto de aplicación de la carga de corte,  $e$  es el índice de huecos del elemento de suelo y  $e_{cs}$  es el índice de huecos crítico; el suelo marcado como 1 es un suelo blando mientras que el 2 es denso y el 3 puede ser considerado como muy denso).

### 2.2. La ecuación de Skempton

En el aparato triaxial se utiliza una muestra cilíndrica, que se somete en primer lugar a una presión de confinamiento  $\sigma_c$  en todas sus caras, a continuación se incrementa el esfuerzo axial vertical  $\Delta\sigma_1$  hasta que se rompa la muestra. Como no existen esfuerzos tangenciales sobre las caras de la muestra cilíndrica, el esfuerzo axial total  $\sigma_c + \Delta\sigma_1$  y la presión de confinamiento  $\sigma_c$  son los esfuerzos principales mayor y menor  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  respectivamente. El incremento de esfuerzo axial  $\Delta\sigma_1 = \sigma_1 - \sigma_3$  es el esfuerzo desviador. En este aparato de ensayo se coloca la muestra envuelta en una membrana y sellada de forma que existe una válvula de drenaje que cerrada permite generar presión intersticial.

En la fase no drenada del ensayo, al incrementar el esfuerzo axial sobre la muestra en la cantidad  $\Delta\sigma_1$  se genera presión intersticial  $\Delta u$  y por tanto se somete la muestra a una variación  $\Delta\sigma'_1, \Delta\sigma'_2, \Delta\sigma'_3$  de las tres tensiones principales efectivas. La variación de las tensiones efectivas es, según el principio de Terzaghi [5], igual a

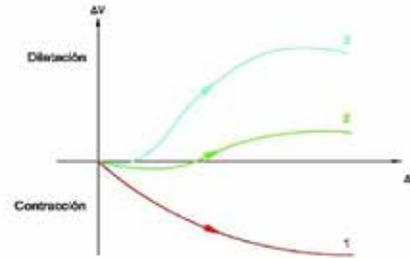


Fig. 2. Variación de volumen con el desplazamiento transversal ante carga de corte para tres elementos de suelo de diferentes densidades

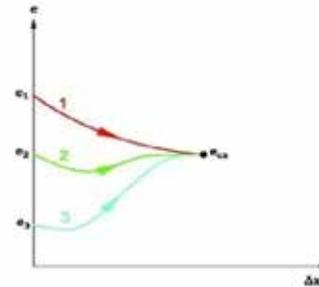


Fig. 3. Variación del índice de huecos con el desplazamiento transversal ante carga de corte para tres elementos de suelo de diferentes densidades.

$$\Delta\sigma'_1 = \Delta\sigma_1 - \Delta u \quad \Delta\sigma'_2 = \Delta\sigma_2 - \Delta u \quad \Delta\sigma'_3 = \Delta\sigma_3 - \Delta u$$

Si la muestra está constituida por un material isotrópico y elástico, de módulo de deformación volumétrica  $K$  (relación entre el incremento de tensión octaédrica efectiva  $\Delta\sigma'_{oct}$  y la deformación volumétrica  $\varepsilon_v$ ), la variación del volumen  $\Delta V$  correspondiente será igual a:

$$\Delta V = V\varepsilon_v = -V \frac{\Delta\sigma'_{oct}}{K} = -\frac{V}{3K} (\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3)$$

$$\Delta V = V\varepsilon_v = -V \frac{\Delta\sigma'_{oct}}{K} = -\frac{V}{3K} (\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3) \quad (1)$$

Si llamamos  $n$  a la porosidad inicial de la muestra, al estar saturada el agua que contiene, ocupa inicialmente un volumen  $nV$ , siendo  $V$  el volumen total de la muestra.

Los granos sólidos son prácticamente incompresibles y la variación de volumen se traduce en una variación de la porosidad y, por consiguiente, del volumen de agua. Esta variación de volumen está relacionada con la presión intersticial  $\Delta u$  por la fórmula:

$$\Delta V = -\frac{nV}{K_w} \Delta u \Delta V = -\frac{nV}{K_w} \Delta u \quad (2)$$

En la que  $K_w$  representa el módulo de deformación volumétrico del agua.

Igualando las dos expresiones halladas (1) y (2) para la variación de volumen  $\Delta V$  y despejando la generación de presión intersticial  $\Delta u$  se obtiene (Terzaghi [5]):

$$\Delta u = \frac{1}{1+n\frac{K}{K_w}} \frac{\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3}{3} \Delta u = \frac{1}{1+n\frac{K}{K_w}} \frac{\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3}{3} \quad (3)$$

En el ensayo triaxial, al tener simetría cilíndrica, las tensiones principales en las direcciones perpendiculares a la mayor (la axial vertical) son iguales, con lo que se tiene que  $\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$ . Y por tanto (Terzaghi [5]):

$$\Delta u = \frac{1}{1+n\frac{K}{K_w}} \left[ \Delta\sigma_3 + \frac{1}{3}(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \right]$$

$$\Delta u = \frac{1}{1+n\frac{K}{K_w}} \left[ \Delta\sigma_3 + \frac{1}{3}(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \right] \quad (4)$$

Fórmula que se ha establecido suponiendo material elástico, saturado y que la variación de presiones afectaba a la fase no drenada del ensayo. En la práctica el suelo no es elástico, pero la fórmula anterior sugiere la relación experimental (Skempton [1]):

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)]$$

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad (5)$$

En la que  $A$  y  $B$ , llamados coeficientes de presión intersticial, son parámetros empíricos introducidos por Skempton [1].

Cuando la muestra está saturada la experiencia demuestra que  $B$  es igual a la unidad para este tipo de suelos, lo cual podría preverse ya que el módulo de deformación volumétrico del agua es muy superior al del esqueleto del sólido, siendo por consiguiente el término  $K/K_w$  prácticamente nulo. En los suelos secos por tanto,  $B$  adopta el valor nulo.

El parámetro  $A$  se determina midiendo la presión intersticial que induce en la muestra la aplicación del esfuerzo desviador.

### 2.3. Muestras de suelo empleadas en la investigación

La etapa experimental de la que se disponen los datos se realizó con las muestras provenientes del subsuelo del Puerto de Barcelona, en particular con las obtenidas de dos sondeos realizados sobre los cajones del muelle del Prat.

El depósito del que se extrajeron las muestras, se ubica cerca de la desembocadura del río Llobregat, en el mar Mediterráneo. El depósito pertenece al delta del Llobregat cuyo origen es aluvial del Cuaternario reciente y más exactamente de la época Holocénica.

El delta está constituido por intercalaciones de arcillas, limos, limos arenosos y arenas finas sobre un estrato de gravas y arenas de espesor varía entre 5 y 10 metros.

Se trata de un ambiente sedimentario constituido por pequeñas intercalaciones de suelos finos que impide definir con claridad horizontes estratigráficos dentro de la zona estudiada.

A partir de la observación y manipulación de todas las muestras utilizadas durante la etapa experimental, la identificación visual del depósito encontrado entre 30 y 52 metros de profundidad, respecto del nivel medio del mar es la siguiente: depósito de origen sedimentario en ambiente micáceo constituido por intercalaciones muy delgadas de limos arcillosos o arcillas limosas de consistencia media a blanda, eventualmente algo orgánico.

A partir de los ensayos de identificación y estado realizados con estas muestras, se concluye que:

El depósito estudiado es heterogéneo, laminado y constituido por intercalaciones de pequeño espesor (de 1 a 2 centímetros).

El rango de variación del peso específica de sólidos es pequeño y con un valor medio del orden de 2,75 t/m<sup>3</sup>.

La densidad natural o peso volumétrico varía entre 1,94 y 2,0 t/m<sup>3</sup>.

El tanto por ciento de finos, medido como porcentaje de partículas que pasan la malla N° 200 (diámetro de las partículas inferior a 0,074 mm), es predominantemente mayor del 90%.

A partir del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S.) el depósito se puede considerar que está constituido por arcillas limosas de baja plasticidad.

#### 2.4. Etapa experimental

Para la realización de los ensayos se ha empleado el aparato de corte simple (Bjerrum & Landva [6]) que, por su precisión, es el utilizado en el presente trabajo. En este equipo se consigue mantener toda la muestra en deformación de corte simple, ya que las tensiones son las mismas sobre cualquier plano horizontal puesto que las paredes laterales permanecen planas, al estar formadas por un conjunto de anillos de pequeño espesor, que confina la muestra, situados uno sobre otro y en cuyo hueco interior se sitúa la muestra cilíndrica a ensayar.

El equipo que se utilizó para conocer el comportamiento de los suelos arcillosos de la zona del Puerto de Barcelona es el aparato de corte simple, programando una completa campaña de laboratorio que incluía la realización de 20 pruebas estáticas.

Como se trata de investigar la respuesta del suelo en su estado natural, en todas las pruebas realizadas, el valor  $\sigma'_{v0}$  corresponde al valor estimado de campo. Para ello y debido a que las muestras ensayadas fueron extraídas mediante sondeos realizados sobre los cajones del muelle del Prat, la tensión efectiva de consolidación, aplicada sobre las muestras, se estimó mediante suma de la tensión efectiva *in situ* por peso propio del suelo y del incremento de tensión efectiva por el peso de los cajones.

Se fijaron para todos los ensayos las condiciones fijas:

- Muestras inalteradas.
- Probetas de 7 centímetros de diámetro y 1.91 centímetros de altura.
- Tensión de consolidación igual a la tensión efectiva vertical *in situ*  $\sigma'_{v0}$ .
- Condiciones no drenadas y evaluación de la presión intersticial generada.
- Deformación controlada durante la aplicación de la carga estática. La velocidad de deformación tangencial fue igual 0.015 mm/min.

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1. Resultados de los ensayos de corte simple

En la Tabla 1 se presentan los valores de tensión de rotura tangencial estática y de generación de presión intersticial para las muestras ensayadas. En dicha tabla se indica la presión de consolidación, pudiendo observarse cómo la tensión tangencial de rotura estática es aproximadamente un 30% de esta. En la Fig. 4 se representa el resultado gráfico del ensayo identificado como número 12. En dicha representación la curva superior indica la evolución de la tensión tangencial al deformarse la muestra, mientras que la curva inferior denota la evolución de generación de presión intersticial.

#### 3.2. Interpretación del ensayo de corte simple

El funcionamiento del aparato de corte simple se rige por el sistema de drenaje restringido, es decir, el aparato no puede medir la generación de presión intersticial y por ende es necesaria su evaluación indirecta. Para ello, el aparato detecta por servocontrol la tendencia al cambio de volumen y reacciona manteniendo la altura de la muestra constante.

Por tanto, realmente el interior de la muestra no tiene agua a presión y es la variación de la presión total vertical que se ejerce sobre la muestra la que mantiene la altura constante. El incremento de presión exterior es necesario para mantener la altura constante y equivale a la presión intersticial generada.

De acuerdo con el criterio de Bjerrum & Landva [6], las pruebas de corte simple a volumen constante son equivalentes a pruebas no drenadas, y el cambio en la tensión vertical, aplicada sobre la muestra, es equivalente al cambio en la presión intersticial que se generaría dentro de una muestra sometida a corte simple con drenaje restringido y tensión axial constante.

Al utilizar el aparato de corte simple y aplicar una tensión vertical inicial cuyo objetivo es reproducir las condiciones tensionales de campo, el conjunto de anillos rígido que se encuentra confinando la muestra reacciona produciendo unas tensiones radiales, u horizontales (si pensamos en un estado de deformación plana), que vienen representadas por un coeficiente de empuje al reposo,  $K_0$ , cuya aplicación es válida para tensiones efectivas y únicamente en tensiones principales.

Tabla 1. Resumen de resultados obtenidos en los ensayos de corte simple monotónico

Identificación de la muestra	Tensión de consolidación (KPa)	Tensión de rotura estática (KPa)	Incremento de presión intersticial (KPa)
1	181	54.31	100
2	247	74.10	130
3	261	78.20	140
4	271	81.20	142
5	277	85.50	160
6	283	80.30	160
7	294	98.22	145
8	311	93.54	175
9	315	99.78	205
10	328	116.93	185
11	343	165.78	240
12	347	102.12	190
13	349	108.62	180
14	364	110.17	200
15	366	111.73	220
16	373	101.08	190
17	384	147.59	175
18	389	130.70	210
19	401	145.00	250
20	413	142.67	220

En el ensayo de corte simple, durante la fase de consolidación previa, la tensión principal mayor es igual a la presión de consolidación vertical  $\sigma'_{v0}$  mientras que la tensión efectiva principal menor es igual a la tensión horizontal y corresponde al valor  $K_0 \sigma'_{v0}$ . El incremento de tensiones de corte en el plano horizontal provoca una rotación de la dirección inicial de las tensiones principales y un cambio parcial en su magnitud. Debido a este hecho, en que las condiciones de tensiones son desconocidas, la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos tal como comentan Bjerrum & Landva [6] al presentar los primeros resultados con este aparato, está limitado a considerar las tensiones de corte y las tensiones normales en el plano horizontal. Por tanto, se supone que la probeta rompe cuando la resistencia al corte en este plano alcanza un valor máximo, independientemente de que se haya producido una resistencia al corte mayor en otro plano.

Es bien conocida la relación elástica, que en deformación plana y en ausencia de deformación lateral, como corresponde a un contorno rígido, es:

$$\begin{aligned} \Delta \sigma'_2 = \Delta \sigma'_3 &= \frac{\nu}{1-\nu} \Delta \sigma'_1 = K_0 \Delta \sigma'_1 \\ \Delta \sigma'_2 = \Delta \sigma'_3 &= \frac{\nu}{1-\nu} \Delta \sigma'_1 = K_0 \Delta \sigma'_1 \end{aligned} \quad (6)$$

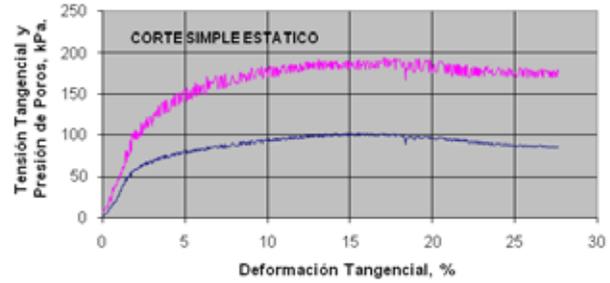


Fig. 4. Evolución de la tensión tangencial y de la generación de presión intersticial con la deformación de corte

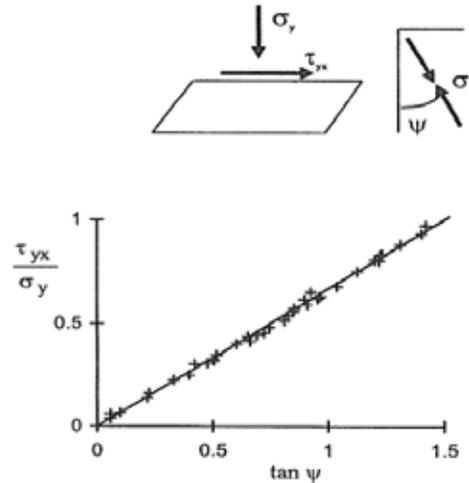


Fig. 5. Ajuste para los datos de rotación de tensiones a partir del aparato de corte simple con arena de Leighon y Buzzard.

Siendo  $\nu$  el módulo de Poisson, que para el suelo de estudio puede estimarse en un valor de 0,25.

Durante el ensayo de corte simple, los planos principales de tensiones y deformaciones, rotarán en la medida en que cambia el estado de tensiones. La condición impuesta por el aparato no requiere que los planos principales de tensiones y deformaciones coincidan. Sin embargo, Roscoe, Basset & Cole [3] investigaron con los aparatos de Cambrigde, que incorporaban transductores en todos los bordes de la muestra, y concluyeron que una vez que se puede considerar que se ha entrado en plasticidad (generalmente, al desarrollar grandes deformaciones), ambos planos principales coinciden. A partir de este postulado básico de la teoría de la plasticidad, Wood, Drescher & Budhu [7] presentaron la relación  $R = \tau_{xy} / \sigma'_y$ , en la parte central de una muestra, frente a  $\tan \Psi$ , siendo  $\Psi$  el ángulo entre la dirección de la tensión principal mayor y el plano vertical (Fig. 5).

En dicha figura se representan datos de un gran número de ensayos realizados con carga vertical constante, diferentes densidades iniciales y niveles de tensiones, y también diferentes trayectorias de tensiones y deformaciones. Los resultados definen claramente una recta cuya expresión es de la forma:

$$R = m \cdot \tan(\Psi) \quad R = m \cdot \tan(\Psi) \quad (7)$$

De forma práctica, la contante  $m$  se determina asumiendo que los ejes principales de incrementos de deformaciones y tensiones coinciden, siendo por tanto los valores  $\tau_{xy}$  y  $\sigma'_y$  los medidos directamente en el ensayo. Además, se asume que estos se distribuyen uniformemente sobre la muestra.

Otros autores, Ochiai [8] & Oda [9] habían concluido que al final del ensayo de corte (cuando se alcanza el estado crítico) donde la muestra continúa sin cambios en las tensiones ni en el volumen de la muestra, el eje principal del incremento de tensiones y el de deformaciones coinciden y dan lugar a que  $\tan \Psi = 1 \tan \Psi = 1$ .

Teniendo en cuenta (7), se puede deducir la relación entre tensiones principales efectivas mayor y menor respecto a la tensión efectiva vertical según:

$$\frac{\sigma'_1}{\sigma'_y} = 1 + \frac{R^2 \sigma'_1}{m \sigma'_y} = 1 + \frac{R^2}{m} \quad (8)$$

$$\frac{\sigma'_3}{\sigma'_y} = 1 - m \frac{\sigma'_3}{\sigma'_y} = 1 - m \quad (9)$$

De (8) y (9) se obtiene que para  $R = 0$  se está al comienzo del ensayo, y así:

$$\frac{\sigma'_3}{\sigma'_1} = 1 - m = K_0 \frac{\sigma'_3}{\sigma'_1} = 1 - m = K_0 \quad (10)$$

Como  $R = \tau_{xy} / \sigma'_y$ , y en el estado crítico  $R = m$ , entonces:

$$\frac{i_{xy}}{\sigma'_y} = m = 1 - K_0 \frac{i_{xy}}{\sigma'_y} = m = 1 - K_0 \quad (11)$$

Como  $\sigma'_y = \sigma_{y0} - \Delta u \sigma'_y = \sigma_{y0} - \Delta u$ , en situación de estado crítico (al final del ensayo) la presión intersticial generada se propone en este estudio que sea calculada por:

$$\Delta u = \sigma_{y0} - \frac{i_{xy}}{1 - K_0} \Delta u = \sigma_{y0} - \frac{i_{xy}}{1 - K_0} \quad (12)$$

Así, la deducción anterior (12), permite obtener una predicción teórica de generación de presión intersticial en el aparato de corte simple.

### 3.3. Formulación de los parámetros de presión intersticial en el aparato de corte simple

Los coeficientes de Skempton fueron concebidos para el ensayo triaxial, ensayo en el que se aplican externamente tensiones normales y por tanto se fuerzan las tensiones principales. En el ensayo de corte simple, la situación es diferente, aquí se aplican externamente tensiones de corte. Esto sugiere emplear expresiones de estructura diferente que la expresión de Skempton, ya que si bien dicha estructura está sugerida por la deducción teórica para suelo elástico con tensiones principales menores iguales, hay que señalar que en el corte hay rotación de tensiones en todo momento al progresar el ensayo con lo que la tendencia a la variación de volumen está muy influenciada por los contornos.

Matemáticamente la relación (5) es aplicable a un punto, es decir, a un volumen elemental con cargas uniformes en todas sus caras. En el triaxial, dicha condición se logra bastante bien, al ser las condiciones de contorno directamente expuestas por las cargas externas que se mantienen bastante uniformes en todas las caras y son las tensiones principales. En el corte, el incremento de presión intersticial lleva asociada la rotación de tensiones principales por actuación de los contornos, no siendo por tanto aconsejable extender (5) a todo el ensayo, pues las sollicitaciones que realmente son uniformes son las externas donde actúan y no las tensiones principales.

Es decir, en el triaxial la generación de presión vendría relacionada por las variables de cambio de tensiones exteriores aplicadas. Sin embargo, en el corte simple, aparte de éstas influye la rotación de tensiones, con lo que el parámetro  $AA$  no está unívocamente relacionado con los parámetros externos, al menos de forma directa, pudiendo dicho parámetro ser muy variable e incluso adoptar valores asintóticos al hacerse nulo el desviador en tensiones totales. Esta situación no aconseja el uso de la forma (5) para el aparato de corte simple.

Tabla 2. Resumen de resultados estimados de generación de presión intersticial.

Identificación de la muestra	Parámetro de presión intersticial	Generación de presión intersticial estimada (KPa)	Generación de presión intersticial del ensayo (KPa)
1	1,833	100	100
2	1,834	136	130
3	1,838	144	140
4	1,838	149	142
5	1,741	149	160
6	2,025	163	160
7	1,494	147	145
8	1,826	171	175
9	1,658	165	205
10	1,306	153	185
11	0,570	94	240
12	1,899	194	190
13	1,714	186	180
14	1,805	199	200
15	1,777	198	220
16	2,191	221	190
17	1,103	163	175
18	1,477	193	210
19	1,266	184	250
20	1,396	199	220

Se propone de forma general para cualquier aparato de ensayo, fórmulas que arrojen el incremento de presión intersticial en función de la variación de las tensiones exteriores actuantes, esto hace que si bien en el caso del triaxial se mantenga la fórmula conocida, sin embargo en el corte simple que nos ocupa se proponga la siguiente forma:

$$\Delta u = \Delta \sigma_v + a \Delta \tau \quad (13)$$

En esta relación  $\Delta \sigma_v$  es el incremento de tensión total vertical y  $\Delta \tau$  es el incremento de tensión tangencial.

Incorporamos el parámetro de generación de presión intersticial  $a$  para corte simple.

En el aparato de corte simple y para todas las muestras realizadas, se aplica una tensión de consolidación que permanece constante durante todo el ensayo, por tanto el incremento de presión intersticial puede ser evaluado directamente como

$$\Delta u = a \Delta \tau \quad (14)$$

A partir de (12) tenemos que en el estado crítico:

$$\Delta u = \sigma_{y0} - \frac{\tau_{max}}{1-K_0} = \tau_{max} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{1-K_0} \right) = \tau_{max} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{m} \right)$$

$$\Delta u = \sigma_{y0} - \frac{\tau_{max}}{1-K_0} = \tau_{max} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{1-K_0} \right) = \tau_{max} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{m} \right) \quad (15)$$

Ya que, precisamente se puede considerar que la tensión de corte máxima alcanzada  $\tau_{max}$  se produce en el estado crítico, esto es, al final del ensayo (Fig. 4), y es una proporción  $c$  de la tensión efectiva vertical de consolidación (valor que como se indicó anteriormente es, para nuestras muestras, del orden del 30%).

La gráfica de la Fig.4 para un ensayo cualquiera, sugiere considerar la hipótesis de que la relación (14) es válida para todo el rango de aplicación de la carga en el ensayo. Así, comparando la expresión (15) con la (14) se puede deducir para todo el ensayo de corte simple, un valor del parámetro  $a$  definido, que se mantiene aproximadamente constante y de valor:

$$a = \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{m} \right) \quad (16)$$

A partir de los datos obtenidos de los ensayos resumidos en la Tabla 1 se puede comparar los resultados obtenidos para el final del ensayo (estado crítico) y compararlo con la predicción arrojada según la nueva y sencilla formulación establecida para la predicción de la generación de presión intersticial. Así, se muestran en la Tabla 2, los resultados de la predicción para todas las muestras.

#### 4. DISCUSIÓN

De la comparación de resultados de la Tabla 2 se observa un valor bastante estable en todas las muestras para el parámetro de presión intersticial con la excepción de la muestra 11. Igualmente, se observa como los resultados de predicción son bastante aproximados al resultado obtenido en los ensayos, resultando una dispersión significativa únicamente en las muestras 9, 10, 11 y 19.

En particular, se analizó más en detalle la muestra 11 con objeto de detectar las causas de las desviaciones, detectando en ella la presencia de arcillolita que conformaba una muestra altamente heterogénea, no siendo representativa del depósito de suelo blando que se pretendía estudiar, pudiendo atribuir a dicha naturaleza anisótropa el comportamiento errático de dicha muestra respecto al resto de resultados.

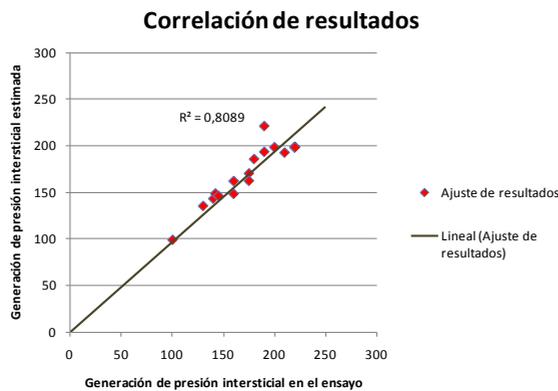


Fig.6. Bondad de ajuste entre los datos estimados y reales de generación de presión intersticial.

Representados los datos en un gráfico y eliminando los ensayos de naturaleza heterogénea, de forma que se represente en ambos ejes las presiones intersticiales generadas en el ensayo y las estimadas mediante la formulación propuesta, la desviación respecto a la línea bisectriz representa la desviación de resultados obtenida. Como se observa en la Fig. 6, se obtiene una correlación bastante buena de resultados.

## 5. CONCLUSIÓN

La predicción de generación de presión intersticial que se produce en un suelo saturado ante la actuación de cargas de diferente naturaleza es un problema de máximo interés en mecánica de suelos. La forma de estudiar dicha generación se ha realizado tradicionalmente a partir del estudio del suelo en el aparato triaxial; el suelo, en su estado natural, tendrá unos puntos que se puedan simular bien por un estado triaxial y otros para los que la mejor aproximación supondrá la simulación de un estado de corte simple. Por ello es necesario poder interpretar correctamente los resultados de generación de presiones intersticiales no solo del aparato triaxial sino también del ensayo de corte simple.

En este artículo se ha descrito la campaña experimental realizada, tratando con muestras del subsuelo del Puerto de Barcelona [10] y realizando un total de 20 ensayos de corte simple estático. Se han comentado las limitaciones de la formulación clásica para la estimación de la generación de presión intersticial y se ha planteado una nueva expresión, que de forma sencilla pueda emplearse para cálculos prácticos. Finalmente se evalúa la precisión de la estimación comparando los resultados reales de la experimentación con los arrojados por la fórmula propuesta.

## 6. TRABAJOS FUTUROS

La evolución científica de este trabajo debe guiarse hacia el estudio de la generación intersticial asociado a fenómenos de cargas cíclicas en suelos, siendo la dinámica de suelos un área activa hoy día en el ámbito de la investigación geotécnica.

## REFERENCIAS

- [1] A.W. Skempton, "The pore pressure coefficients A and B," *Géotechnique*, Vol. 4, No. 4, pp. 143-147, Dec. 1954.
- [2] C.P. Wroth & R.H. Bassett, "A stress-strain relationship for the shearing behaviour of a sand," *Géotechnique*, Vol. 15, No. 1, pp. 32-56, Mar. 1965.
- [3] K.H. Roscoe, R.H. Basset & E.R.L. Cole, "Principal axes observed during simple shear of a sand," *Proc. Geotechnical Conf.*, Oslo, Vol.1, pp. 231-237, 1967.
- [4] A.N. Schofield & C.P. Wroth. *Critical State Soil Mechanics*. London: McGraw-Hill, 1969.
- [5] K. Terzaghi. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*. Deuticke: Leipzig und Wien, 1925.
- [6] L. Bjerrum & A. Landva, "Direct Simple-Shear Test on a Norwegian Quick Clay," *Géotechnique*, Vol. 16, No 1, pp. 1-20, Mar. 1966.
- [7] D.M. Wood, A. Drescher & M. Budhu, "On the determination of stress state in the simple shear apparatus," *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 2, No 4, pp. 211-221, Dec. 1979. DOI: 10.1520/GTJ10460J
- [8] H. Ochiai, "The behavior of sands in direct shear tests," *Soils and Foundations*, Vol.15, No 4, pp. 93-100, Dec.1975.
- [9] M. Oda & J. Konishi, "Rotation of principal stresses in granular material during simple shear," *Soils and Foundations*, Vol. 14, No 4, pp. 39-53, Dec. 1974.
- [10] C.H. Patiño, *Influencia de la combinación de tensiones tangenciales estáticas y cíclicas en la evaluación de parámetros estáticos y cíclicos de un suelo cohesivo*. Ph.D. Dirigida por A. Soriano. Escuela Técnica de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, UPM, 2009.

## USO DE LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE NXT-G 2.0 EN LA CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DE UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA

### USE OF BASIC CONCEPTS NXT -G 2.0 CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT OF A ROBOT LINE FOLLOWER

**Jonathan Alexander Soto-Montoya, Est.**

*Grupo de Investigación SISCO,  
Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia  
jonathan.sotomo@amigo.edu.co*

**Julio César Gómez-Naranjo, Est.**

*Grupo de Investigación SISCO,  
Fundación Universitaria Luis Amigó  
Medellín, Colombia  
julio.gomezna@amigo.edu.co*

**Ingrid-Durley Torres-Pardo, MSc**

*Grupo de Investigación GEA.  
Institución Universitaria Salazar y Herrera.  
Medellín, Colombia.  
i.torres@iush.edu.co*

(Recibido el 10-10-2012. Aprobado el 20-12-2012)

**Resumen.** En este artículo se muestra la estrategia de programación de un seguidor de línea, a partir de la aplicación de fórmulas matemáticas básicas. Las formulas son traducidas en un lenguaje gráfico elemental, que hace posible la experimentación de la estrategia, en un robot LEGO MINDSTORM.

**Palabras clave:** Robótica, programación, fórmulas matemáticas, seguidor de línea.

**Abstract.** In this paper the strategy of programming a line follower shown, from the application of basic mathematical formulas. The formulas are translated into an elementary graphical language, which enables testing of the strategy, a MINDSTORM LEGO robot.

**Keywords:** Robotics, programming, mathematical formulas, line follow.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con los grandes avances tecnológicos que se presentan actualmente, se torna importante conocer el concepto y funcionamiento de la robótica, ya que su utilidad y eficiencia se ha visto reflejada en las diferentes áreas de la ciencia y la tecnología, como la medicina, el área industrial, el hogar, educación, seguridad, entre otros. Es por esto que en este artículo se pretenden dar a conocer bases del funcionamiento de esta rama de la tecnología a partir de un ejemplo básico y simple.

En la actualidad existen varias plataformas de robots económicamente accesibles (AvtivMedia's Pioneer robot [1], MIT's HandyBoard and Cricket controller cards [2], The LEGO Group's LEGO MINDSTORM [3] son algunos ejemplos. Aunque para el alcance de esta propuesta y por la facilidad de contar con este recurso, se usa el kit de LEGO MINDSTORM Nxt 2.0 [4]. Este kit, como muchos otros, cuenta con su propio entorno de programación, en este caso el entorno de desarrollo Nxt-G 2.0 [5]. El Nxt-G, consta de un lenguaje gráfico de programación [6] [7] [8], que resulta amigable al usuario, razón que justifica, su selección en esta propuesta.

La estrategia de programación que se va a utilizar en este artículo comprende tres etapas principales:

### 1.1. Una formulación técnica

El objeto principal de esta etapa, es "imaginar, diagramar y/o dibujar" lo que debe ser el robot y lo que deberá hacer el seguidor de línea, para que ambos converjan en una estrategia rápida y eficaz que le permita a un robot seguir un camino demarcado con una línea. Es decir, con la formulación técnica se espera construir el plan o estrategia concebida para obtener el seguidor que se desea y el robot que se requiere.

### 1.2. Construcción del robot

Teniendo en cuenta la etapa anterior, se construirá el robot requerido, a partir del acoplamiento de las diferentes piezas que contiene el kit de LEGO ya mencionado [9].

### 1.3. Construcción del software

Utilizando la idea planteada en la formulación técnica definida y del seguidor que se desea, en esta etapa se desarrollará el proceso de traducción de

las fórmulas matemáticas básicas al lenguaje de programación gráfico [10], el cual finalmente será interpretado y ejecutado por el robot anteriormente construido [11].

## 2. MARCO REFERENCIAL

Aunque ya se ha citado de manera muy breve el objetivo que se persigue en esta propuesta se considera necesario resaltar algunos de los conceptos formales comúnmente aceptados en el área de la robótica, que resultan recurrentes en este trabajo y que permiten dar mayor claridad a este tema.

### 2.1. Robótica

Es una rama de la tecnología que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desarrollar tareas cotidianas o no, en las que se necesita el uso de la inteligencia o, simplemente, para eliminar el factor humano. Actualmente, expertos de varios campos trabajan en la investigación de distintos temas de la robótica, esta generalmente tiende a subdividirse, lo que garantiza un desarrollo más veloz [12] [13] [14].

### 2.2. Robot

Es un ente virtual y mecánico que desempeña tareas controlado automáticamente por una computadora. En la actualidad, existe una gran cantidad de tipos de robots; el tipo que se utilizó para este trabajo es de tipo autónomo, que se caracteriza por su habilidad para producir y ejecutar su propio plan y estrategia de movimiento [15]. Los robots generalmente cuentan con actuadores para mover la estructura mecánica y con sensores para percibir su entorno [16]; para este trabajo, se pretende usar un robot que consta de un sensor de luz o fotoeléctrico [17], el cual cuenta con un componente que genera luz, y otro que responde al cambio de la intensidad de la misma; además, se usarán dos servomotores [18] para que la locomoción [19] sea correcta.

## 3. ESTRATEGIA DE PROGRAMACIÓN

Cuando se habla de robot seguidores de línea [20], se están citando robots cuyo objetivo consiste en recorrer con la mayor precisión posible una línea marcada en el suelo, sin embargo, la precisión depende de varios factores, entre ellos, de la distinción de colores que realice el robot del ambiente a través de sus sensores [21]. Con el fin de facilitar esta labor, comúnmente se usa una línea negra sobre un fon-



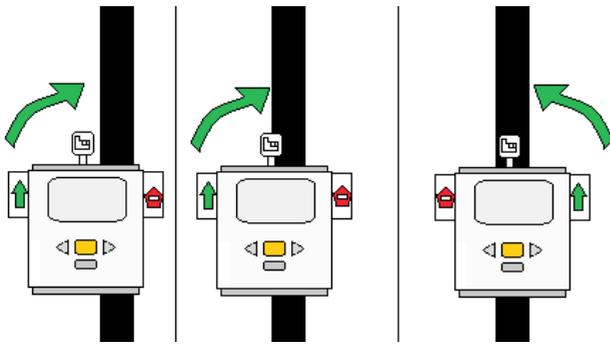


Fig. 3. Imagen del método zigzag con dos sensores

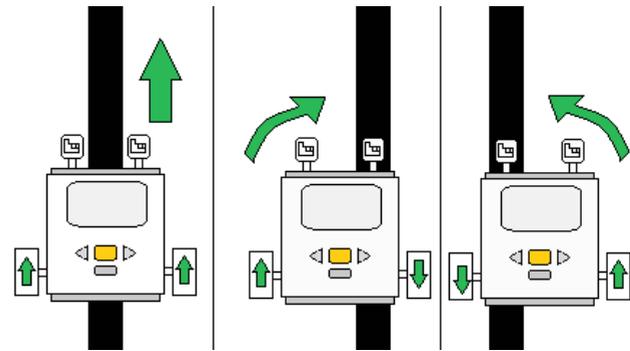


Fig. 4. Imagen del método seguidor de punto intermedio

correcta locomoción, el ladrillo inteligente debe estar equipado con 2 llantas en la parte trasera y moderadamente separadas del mismo y además, debe tener una en el centro de la parte delantera.

### 3.1.3 Seguidor de punto intermedio

esta forma de interpretar el problema utiliza un sensor de luz al cual se le daría un valor intermedio entre la superficie blanca y la negra, que implementa una condición que dice que si se detecta un valor mayor o igual al definido previamente, significa que está más hacia el blanco que hacia el negro y que debe girar a la derecha y, si al contrario, el valor es menor, es porque está más cerca de la superficie negra que de la blanca, por ende, debe girar hacia la izquierda como se puede ver en la figura 4, comprendiéndose esta condición dentro de un ciclo repetitivo infinito.

Para la consecución de este método, el robot debe ser diseñado como lo muestra la figura 4 de manera que tenga un sensor (de color o de luz) en la parte de adelante apuntando hacia el suelo, a no más de un centímetro del mismo. El prototipo también debe poseer tres llantas: dos instaladas paralelamente por debajo de la parte delantera del ladrillo y una tercera unida en la parte inferior trasera del mismo.

El método lógico escogido fue el seguidor de punto intermedio, puesto que es la idea más simple, versátil y rápida para llevar a cabo la tarea, además utiliza un solo sensor haciendo la tarea mucho más fácil.

## 3.2 Construcción

Mediante las piezas plásticas y el ladrillo inteligente que contiene el kit de lego MINDTORM Nxt 2.0 y

gracias a su gran versatilidad se han ensamblado las diferentes partes que lo constituyen, como los motores, que con ejes se les instaló una rueda a cada uno de ellos. Estas están en la parte delantera a 8 cm de separación entre sí, lo cual, en conjunto con las vigas que fueron unidas a la parte de atrás del motor y llegan hasta el suelo, hacen las veces de ruedas traseras ofreciendo una mayor maniobrabilidad, estabilidad y velocidad que un modelo con cuatro ruedas y más compacto en cuanto a diseño se refiere.

Los motores [26] en este diseño están directamente debajo del ladrillo inteligente sin ningún tipo de separación; estos, alimentados con 9 V cada uno y con un consumo de 0,55 A, pueden llegar hasta 117 rpm y las ruedas empleadas constan de unas dimensiones de 5,6 x 2,6 cm (modelo 55976). Estas especificaciones se acomodan a las condiciones del medio, gracias a la tracción que brindan.

El sensor de luz está ensamblado en la parte frontal del robot a 1 cm del suelo para así garantizar una buena lectura de la superficie en la que se encuentra, que en este caso entregará la información necesaria para programar correctamente los motores. Este sensor se encuentra a 2 cm de cada rueda, lo que garantiza una reacción más eficiente de los motores como puede verse en la figura 5.

## 3.3 Software

Como ya se ha dicho, para llevar a cabo los objetivos de este ejemplo se va a utilizar el entorno de desarrollo gráfico Nxt-G 2.0. Teniendo en cuenta como la base principal a la estrategia elegida (seguidor de punto intermedio), se ha desarrollado un programa que sigue la línea correctamente. Esto se ha logrado añadiendo como instrucción principal una bifurcación o condicional que es una instrucción dada al ladrillo



Fig. 5. Robot terminado

inteligente para que decida qué hacer según el dato de entrada definido previamente que, por ejemplo, puede ser el de una variable, sensor de luz, de sonido, de ultrasonido, etcétera.

El sensor de luz consta de un rango de 0 a 100 para expresar la luminosidad de la superficie que percibe. Por pruebas hechas con dicho sensor en un ambiente medianamente iluminado, se determinó que el color blanco está dado por los valores entre 50 y 65, y el color negro entre 25 y 40; en este caso se necesita que cuando el sensor esté en negro vaya hacia la izquierda y cuando esté en blanco o en el punto intermedio vaya hacia la derecha; por lo tanto, se requiere de un valor intermedio entre el blanco y el negro.

El color negro en su expresión mínima como ya se había dicho empieza en 40 puesto que entre mayor luminosidad, más clara es la superficie, y la expresión mínima del blanco es 50 ya que entre menos luz haya se torna más oscura la superficie; consecuentemente, si el sensor está sobre una parte negra y una parte blanca retornará un valor entre 40 y 50, el sensor lo recibiría como punto intermedio entre los dos. Para determinar exactamente ese punto intermedio se calcula con la fórmula del promedio [27] utilizando los datos definidos previamente:

$$Vi = \frac{N + B}{2} \quad (1)$$

Donde  $V_i$  es el valor intermedio,  $N$  el color negro en su mínima expresión y  $B$  el color blanco en su mínima expresión; ahora, remplazando su valor en (1) nos daría:

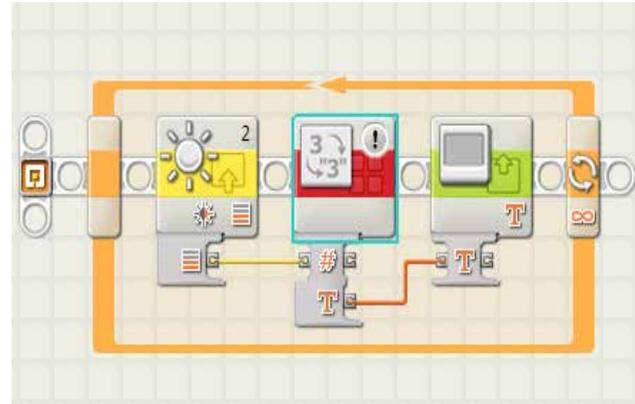


Fig. 6. Ilustración programa verificador de superficie

$$Vi = \frac{40 + 50}{2} = 45 \quad (2)$$

Como se puede ver en (2), el valor intermedio vale 45; para aseverar este dato, se ha verificado y validado mediante un programa que retorna en pantalla el valor de la superficie en la que se encuentra como se ve en la figura 6.

Ahora se crea una bifurcación en el NXT-G 2.0 que comprueba el valor que recibe del sensor de luz; si es mayor o igual que el del punto intermedio, significa que está en una superficie blanca, por ende, debe girar hacia la derecha; para lograrlo, se añaden dos bloques de movimiento, uno que define que se debe mover el motor de la izquierda ilimitadamente a una potencia del 70% (se pone en 70% en vez del 100% para que no se tope con las líneas distractoras), y otro que dicte que el motor de la derecha se detenga. Si, por el contrario, el valor recibido es menor que el del punto intermedio, quiere decir que está en una superficie negra, por lo que debe girar hacia la izquierda; para llevarlo a cabo, se establece con bloques de movimiento de nuevo, que el motor de la izquierda se detenga y el de la derecha avance ilimitadamente con una potencia del 70%.

Para que este proceso no se detenga la primera vez que verifica la condición y, en su lugar, la analice infinitamente, se insertan las instrucciones anteriores dentro de un ciclo infinito como se puede ver en la figura 7.

Cuando el valor verificado es mayor, igual o menor al punto intermedio, mueve infinitamente un motor y detiene el otro según el valor de entrada, pero como

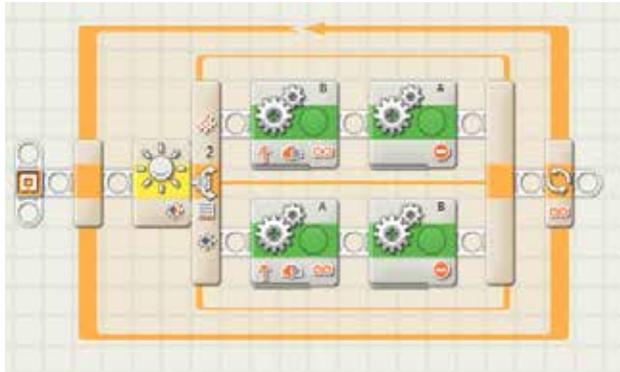


Fig. 7. Ilustración del programa seguidor de línea

está dentro de un ciclo infinito, verificará en fracciones de segundo una y otra vez la condición, y si toma la decisión contraria a la que estaba ejecutando, detiene al motor que estaba en movimiento infinito y mueve el otro; por esto es que es tan necesario el ciclo infinito.

#### 4. RESULTADOS

La línea de 11,2 m fue recorrida por el robot en un tiempo de 143 s. Ahora, con la distancia y el tiempo definidos, se puede calcular la velocidad promedio en la que recorrió la pista con la siguiente fórmula [28]:

$$\text{Velocidad promedio} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} \quad (3)$$

Remplazando los datos ya mencionados (distancia y tiempo) en (3) nos quedaría así:

$$\text{Velocidad promedio} = \frac{11,2 \text{ m}}{143 \text{ s}} = 0,08 \text{ m/s} \quad (4)$$

Con la ecuación (4) se puede ver que la velocidad promedio que empleó el robot en cruzar la pista completamente es de 0,08 m/s (8 cm/s). En el caso de las líneas distractoras, el sensor de luz del robot no las detecta porque hay una distancia de 1 cm entre esta y la línea principal, lo que deja un espacio de color blanco por el que pasa el sensor, sin percibir siquiera algo del negro; además, gracias al punto intermedio definido mediante la operación matemática de promedio y la potencia que se le imprimió (70%), el robot siempre busca estar en la frontera entre la línea negra y la superficie blanca.

El error más común en cuanto a diseño es separar demasiado los motores y, en consecuencia, una rueda de la otra, lo que ocasiona que el radio de giro aumente conllevando a que tome la curva mucho más lento y pierda su versatilidad. O del mismo modo, alejarlos demasiado del ladrillo inteligente y del sensor de luz, lo que podría ocasionar una deficiencia en el cumplimiento de los objetivos.

Normalmente se pensaría que implementar una llanta al lado contrario de las ruedas unidas al motor (donde en este caso están las vigas), brindaría una mayor velocidad; lo que es cierto, pero al momento de girar lo hace mucho más ineficiente, pues la misma tracción que brinda para ir más rápido en una línea recta, es la misma que no deja ejecutar el giro apropiadamente en una curva.

Otro error común de diseño es adaptar el sensor de luz a una distancia inadecuada del suelo, ocasionando una lectura incorrecta de los datos. Entre muchos errores de programación que se presentan los más comunes son imprimirle demasiada velocidad a los motores, lo que hará que se tope con las líneas distractoras o que tome la línea en otra posición de la pista. Igualmente a la hora de programar comúnmente no se tiene en cuenta la iluminación del ambiente, lo que puede generar que el robot no actúe de la manera deseada.

#### 5. TRABAJOS FUTUROS

En trabajos posteriores se podría maximizar la eficiencia del robot seguidor de línea haciéndole modificaciones en las tres etapas principales mencionadas anteriormente (la estrategia, el software y la construcción). En cuanto a software, se podría remplazar el entorno de desarrollo gráfico Nxt-G 2.0 por uno más completo, como Java LeJOS [29]; y en la parte de construcción, se podría partir de leyes físicas, mecánicas y de otros componentes que no incluye el kit de Lego MINDSTORM Nxt 2.0, y que se adapten mejor a estas leyes para hacer un modelo más eficiente en cuanto a rendimiento.

#### 6. CONCLUSIONES

La introducción o acercamiento a la robótica básica ayuda a desarrollar actitudes y aptitudes referentes a la investigación, la lógica, la física y las matemáticas; lo cual lleva a comprender la importancia de las ciencias básicas, la robótica y su aplicabilidad en la vida cotidiana y procesos que requieren de su uso.

A pesar de las carencias del entorno de desarrollo, Nxt-G 2.0 ofrece una manera de desarrollar aplicaciones de una manera fácil mediante una interfaz gráfica muy intuitiva e interactiva.

Gracias a las facilidades de ensamblaje que ofrece el kit de Lego MINDSTORM Nxt 2.0, la construcción de cada nuevo diseño se torna realmente divertida e interesante; además es muy motivador ver la interacción entre el diseño y el software [30] para cumplir con los objetivos previstos.

El método implementado en este robot seguidor de línea, serviría de base para ser usado en un robot estructuralmente más conciso; el cual podría llevar a cabo tareas de transporte de objetos de un lugar a otro, lo que lleva a optimizar procesos y a economizar costos y tiempo.

Al iniciarse en el mundo de la robótica, es preciso perseverar y no pretender que se solucionen los problemas que aparecen en el camino, puesto que existen demasiadas variables que complican las cosas mucho más (como la cambiante intensidad luminosa del ambiente).

## AGRADECIMIENTOS

Brindamos nuestros agradecimientos a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización y culminación de este trabajo. En primer lugar a la Fundación Universitaria Luis Amigó (FUNLAM), sede Medellín, por su apoyo en el desarrollo de este trabajo; a la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por permitirnos usar sus instalaciones y herramientas; al director del grupo SINTELWEB, el doctor Jaime Alberto Guzmán Luna por su apoyo y orientación en el desarrollo de este trabajo; al profesor Mauricio López de la Facultad de Ingeniería de la FUNLAM, sede Medellín por su orientación y gran ayuda en el proceso; finalmente a Jhonatan Quejada Mena, estudiante de Ingeniería de Sistemas de la FUNLAM por la compañía en el proceso de desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] V. G. Cerf, "What's a Robot," *Communications of the ACM*, vol. 56, No. 1, p. 7, Jan. 2013.
- [2] *The Handy Board* home page [Online]. Available: <http://handyboard.com/>
- [3] *LEGO Mindstorms* home page [Online]. Available: <http://mindstorms.lego.com/>
- [4] J. Floyd Kelly, "Introduction," *Lego Mindstorms Nxt 2.0: The King's Treasure*, 2009.
- [5] J. Floyd Kelly, "Chapter 2," *Lego Mindstorms Nxt 2.0: The King's Treasure*, 2009.
- [6] M. Overmars. (1999). "Programación de Lego robots utilizando NQC," [Online]: Available: <http://www.unlu.edu.ar/~ogarcia/ia/doc/NQCOVSP.pdf>
- [7] M. Boogaarts, Jo. A. Daudelin, B. L. Davis, J. Kelly, D. Levy, L. Morris, F. Rhodes, R. Rodes, M. P. Scholz, C. R. Smith and Rob Torok, "The LEGO Mindstorms NXT Idea Book: Design, Invent, and Build," *Magazine Ubiquity*, vol. 2007.
- [8] M. Boogaarts, Jo. A. Daudelin, B. L. Davis, J. Kelly, D. Levy, L. Morris, F. Rhodes, R. Rodes, M. P. Scholz, C. R. Smith and Rob Torok, "The LEGO Mindstorms NXT Idea Book: Design, Invent, and Build" [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1331943&coll=portal&dl=ACM>
- [9] O. Koldo, "Robótica con LEGO MINDSTORMS", *Hispabrick Magazine*, vol. 4, Apr., 2009. [Online] Available: <http://www.hispabrickmagazine.com/content/hbm004-iniciaci%C3%B3n-la-rob%C3%B3tica-con-lego%C2%AE-mindstorms>
- [10] L. Sommerville, "Ingeniería del software", 7th ed. En: M. Martín Romo, ¿Qué es software?, parte I. Madrid: Pearson Educación, 2005.
- [11] C. de Pablos, J. J. López Hermoso, S. Martín Romo and S. Medina, "Capítulo 3," En: Pozuelo de Alarcón (Ed.), *Informática y comunicaciones en la empresa*, Madrid: ESIC, pp. 54-55, 1, abril, 2004.
- [12] J. J. Craig, "Prefacio," En: P. M. Guerrero Rosas (Ed.), *Robótica*, México: Pearson Educación, 2006.
- [13] M. Mataric, "What is a Robot?: Defining robotics". *MIT Press*, pp. 1-6, 2007.
- [14] M. Mataric, "What is a Robot?: Defining robotics" pp. 1-6, 2007. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6291131&queryText%3DRobotics>.
- [15] T. Bajd, M. Mihelj, J. Lenarcic, A. Stanovnik and M. Munih, "Robotics", En: S. G. Tzafestas (Ed.), *Robot vocabulary*, New York: Springer, 2010.

- [16] A. Ollero Baturone, "Capítulo 1: Introducción: Robótica: Manipuladores y robots móviles". En *Robots manipuladores*, España: Marcombo, 2001.
- [17] Consejo Superior de Investigaciones Científicas. "Introducción a los sensores". El Museo Universal, 1987.
- [18] M. Cortés Cherta, "Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas", En: *Servomotores de corriente continua*, España: Reverté, 1994.
- [19] T. Jhon, "Principles of Ant Locomotion Culd help future robots team work underground," *ACM TechNews* May, 2013.
- [20] J. Floyd Kelly, "LEGO MINDSTORMS NXT-G Programin guide", Chapter 2. Laurin Beker (Ed.), 2010.
- [21] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., "Robots, visión and signal processing (RVSP)", IEEE Tainan Section International forum, Kaohsiung City, Taiwan, Nov 2011.
- [22] J. Ierache, M. Bruno, M. Dittler and N. Mazza, *Robots y juguetes autónomos una oportunidad en el contexto de las nuevas tecnologías en educación*, Buenos Aires: Universidad de Morón, p. 2, 2008.
- [23] A. Bravo, "Actividades prácticas usando robótica: Condicionales en los diagramas de flujo" [Online]. Available: <http://solorobotica.blogspot.com/2011/09/actividades-practicas-usando-robotica.html>
- [24] J. Paul y H. M. Deitel, *Cómo programar en Java*, 7th ed. México: Pearson Educación, 2008. p. 121.
- [25] *HiTechnic* Home page [Online]. Available: <http://www.hitechnic.com>
- [26] J. Ierache, M. Bruno, M. Dittler and N. Mazza, *Robots y juguetes autónomos una oportunidad en el contexto de las nuevas tecnologías en educación*, Buenos Aires: Universidad de Morón, 2008, p. 2.
- [27] L. Moya de Madrigal, *Introducción a la estadística de la salud*, San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", 1986, p. 157.
- [28] R. A. Serway and J. S. Faughn, *Física para bachillerato general*, vol. 1, México: International Thomson Editores, 2006, p. 50.
- [29] G. Ferrari, A. Gombos, S. Hilmer, J. Stuber, M. Porter, J. Waldinger and D. Laverde. "Programming Lego Mindstorms with Java". Group West and Jaguar Book, may 2002.
- [30] L. Sancho Chavarría, "La computadora: recurso para aprender y enseñar", En *Programas de uso común aplicados a la educación*, Costa Rica: EUNED, 1997.

## GUÍA PARA AUTORES

### Tipología de artículos para la revista

Cada uno de los artículos de la revista es evaluado por pares académicos con reconocida experiencia en el área a la cual pertenece el artículo enviado para su consideración en publicación. Los autores pueden presentar para publicación las siguientes tipologías, definidas por los organismos de indexación de las revistas científicas para reconocer la calidad de la publicación.

La revista otorga prelación para la publicación de artículos de tipo 1, 2 y 3.

**1) Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

**2) Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

**3) Artículo de revisión.** Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

Otro tipo de artículos pueden ser considerados para publicación en la revista, dependiendo de su originalidad y aporte al conocimiento, según lo considere el comité científico, el comité editorial y el comité de árbitros de cada número. Entre ellos se cuentan:

**4) Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.

**5) Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

**6) Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

**7) Cartas al editor.** Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista que, a juicio del Comité Editorial, constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.

**8) Editorial.** Documento escrito por, un miembro del comité editorial o un investigador invitado sobre orientaciones en el dominio temático de la revista.

### Envío de manuscritos

Los aspectos de forma deben seguir las normas básicas que la revista establece a la hora de redactar el informe o trabajo, en aspectos esenciales como los titulares, el tamaño de los párrafos, las citas bibliográficas, las nomenclaturas, la proporción de tablas y figuras, la presentación de los resultados o las citas bibliográficas. En este caso también se recomienda a los autores que se ajusten a la normativa. Es necesario poner especial cuidado en la organización y la estructura del trabajo, el estilo de redacción, la presentación de los resultados en tablas y figuras, y en la correspondencia entre las referencias citadas y las enumeradas al final del trabajo. Además, conviene no olvidar el ajuste del lenguaje a un entorno internacional, propio de la comunidad científica y profesional, más allá de los modismos propios del país o del área en la que se produzca el artículo.

Los autores deberán remitir los manuscritos de los artículos a través de la plataforma de la revista, a la cual se accede a través de <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>, siguiendo las instrucciones que se indican en la plantilla oficial de la revista, consistente en los siguientes requerimientos mínimos:

#### Utilizar plantilla oficial de la revista

Los manuscritos pueden ser escritos en español o inglés, cuartillas tamaño carta (21.59 cm × 27.94 cm) y márgenes de 2 cm en cada lado.

#### Máxima extensión del artículo

7000 palabras.

#### Formato de párrafos

Letra Arial, tamaño 10, espacio doble en columna sencilla.

#### Resumen

Entre 150 y 250 palabras, en español e inglés. Incluir 3 a 5 palabras claves en orden alfabético, con su equivalencia en inglés.

#### Numeración de títulos y encabezados

En listas multiniveles con números arábigos hasta el subnivel 3.

#### Cuerpo del manuscrito

Incluir introducción, metodología y desarrollo evidenciando el aporte al área de ingeniería, conclusiones y trabajos futuros.

#### Citaciones y referencias

Numeración bibliográfica según formato IEEE. Todas las citas en el manuscrito deben estar anotadas en las referencias bibliográficas. No deben existir referencias bibliográficas aisladas que no estén citadas dentro del cuerpo del manuscrito.

### Proceso de evaluación y arbitraje

Los artículos para la revista *Lámpsakos* se someten a consideración del Comité de árbitros para cada edición. Al momento de enviar su manuscrito, la revista puede solicitarle sugerencias para la conformación del mencionado comité de evaluación, con la condición de que el proceso de dictamen para cada edición exige anonimato.

En primer lugar, los artículos recibidos serán objeto de una evaluación preliminar por parte de los miembros del Comité editorial, quienes determinarán la pertinencia de la publicación.

Una vez establecido que el artículo cumple con los requisitos temáticos, además de los requisitos formales indicados en estas instrucciones, será enviado a dos pares académicos externos, quienes determinarán en forma anónima: a) publicar sin cambios, b) publicar cuando se hayan cumplido correcciones menores, c) publicar una vez que se haya efectuado una revisión a fondo y d) rechazar. En caso de discrepancia entre ambos resultados, el texto será enviado a un tercer árbitro, cuya decisión definirá su publicación.

El proceso de dictamen se efectúa por pares académicos especialistas bajo la modalidad doble ciego. Cada par académico revisará la calidad, originalidad, relevancia y valor práctico del trabajo.

La notificación de aceptación o rechazo del artículo se realizará vía e-mail. El informe será emitido a los autores durante el mes siguiente al envío del manuscrito. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todos los casos.

En general, los aspectos de fondo más valorados serán la coherencia y la relevancia de la colaboración para el avance del conocimiento académico y profesional de la ciencia. Es necesario tener presente que cada tipología de trabajo tiene su propia estructura textual y conceptual, en función del aporte y de los posibles lectores.

### **Derechos de autor**

La revista *Lámpsakos* requiere a los autores que concedan la propiedad de sus derechos de autor, para que su artículo y materiales sean reproducidos, publicados, editados, fijados y comunicados y transmitidos públicamente en cualquier forma o medio, así como su distribución en el número de ejemplares que se requieran y su comunicación pública, en cada una de sus modalidades, incluida su puesta a disposición del público a través de medios electróni-

cos, ópticos o de cualquier otra tecnología para fines exclusivamente científicos, culturales, de difusión y sin fines de lucro. Cada artículo se acompaña de una *declaración de originalidad* en la que se especifique que no ha sido publicado y que no se someterá simultáneamente a otras publicaciones antes de conocer la decisión del comité editorial.

### **DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD**

Los trabajos publicados en la Revista, sin excepciones, se acogen a las normas del Copyleft y Creative Commons, ya que la publicación es de libre distribución para el conocimiento, y podrá ser reproducida por cualquier medio haciendo mención de la fuente. El autor o autores autorizan a la Revista y a la Institución para editar y divulgar/publicar el artículo por cualquier medio nacional y/o internacional, impreso o electrónico.

Cada artículo se acompaña de una declaración de originalidad en la que se especifique que no ha sido publicado y que no se someterá simultáneamente a otras publicaciones antes de conocer la decisión del comité editorial.

El artículo es producto de un proceso de investigación del autor y ha sido valorado previamente por colegas expertos antes de ser presentado a publicación.

El autor o autores aceptan las políticas editoriales y los lineamientos de la guía.

Las opiniones y afirmaciones aceptadas para publicación reflejan exclusivamente los puntos de vista de sus autores, y no comprometen necesariamente las políticas y pensamiento de la FUNLAM, la Facultad de Ingenierías o la Revista Lámpsakos.

## GUIDE FOR AUTHORS

### Typology of Articles for the Journal

Each of the papers in the journal is evaluated by academic peers with recognized experience in the area on which the article belongs. Authors may submit their manuscripts for publication, according to the following typologies, defined by indexing agencies of scientific magazines that recognize the quality of the publications. (Publindex, Colciencias - Colombia)

The magazine gives priority to the publication of articles of type 1, 2 and 3.

- 1) Article of scientific and technological research.** Document that presents, in detail, the original results of completed research projects. The structure generally contains four important parts: introduction, methodology, results and conclusions.
- 2) Article of reflection.** Document that presents finished research results from an analytical, interpretative or critical, on a specific topic, using original sources.
- 3) Review article.** Document resulting from a completed investigation, which analyze, systematize and integrate the results of research published or unpublished, in a field of science or technology, in order of accounting for the progress and development trends. It is characterized by a careful literature review of at least 50 references.

Another kind of articles can be considered for publication in the magazine, depending on their originality and contribution knowledge according to the scientific committee and the editorial board of referees committee of each number. Among them are:

- 4) Short article.** Brief document that presents original results preliminary or partial of a scientific or technological research, which usually requires a quick diffusion.
- 5) Case report.** Document that presents the results of a study on a particular situation in order to make known the technical and methodological experiences considered in a specific case. Includes commented systematic review of the literature on analogous cases.
- 6) Topic Review.** Document resulting from a critical review of the literature on a particular topic.
- 7) Letters to the Editor.** Critical positions, analytical or interpretative on documents published in the magazine, which in the opinion of the Editorial Committee are an important contribution to the discussion of the topic by the scientific community of reference.

**8) Editorial.** Document written by the, editorial committee member or a guest researcher on guidelines in the thematic domain of the magazine.

### Requirements of Manuscripts

The aspects of form must follow the basic rules that the journal has established for authors when writing their manuscripts, in essential aspects as the titles, the size of paragraphs, quotations, nomenclatures, the presentation of results, the proportion of tables and figures. Authors should also conform to the rules of quotation of references. Special care is required in the organization and structure of the manuscript, as well as the writing style, the presentation of the results in tables and figures, and the correspondence between the references cited and listed at the end of work. Moreover, authors must not forget about the language settings according to the international environment, typical of scientific and professional community.

Authors should refer their manuscripts of articles through the journal's platform, which may be accessed on the address <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>, following the instructions in the official template magazine, consisting of the following minimum requirements:

#### Use official magazine template

Manuscripts may be written in Spanish or English language, letter or A4 sized pages (21.59 cm x 27.94 cm) and 2 cm margins on each side.

#### Maximum length of the article

7000 words.

#### Paragraphs formatting

Arial letter, size 10, double-spaced in single column.

#### Abstract

Between 150 and 250 words in both Spanish and English languages. Include 3-5 keywords in alphabetical order, with their equivalent in Spanish.

#### Numbering of titles and headers

In multilevel lists with Arabic numerals to the sublevel 3.

#### Body of manuscript

It includes Introduction, Development Methodology and evidencing the contribution to engineering, conclusions and future work.

#### Citations and bibliographic references

Numbering according to IEEE format. All citations in the manuscript must be listed in the references.

There should not be isolated references that are cited in the body of the manuscript.

### Evaluation process and arbitration

The articles for the Journal "Lámpsakos" are subjected to consideration of the Committee of referees for each edition. When authors send their manuscript, the journal may solicit suggestions for the creation of that evaluation committee, based upon the fact that in the dictamination process for each edition requires anonymity.

First, the received articles will be subject to a preliminary assessment by the Editorial Committee members, who will determine the relevance of the publication.

Once established the Article complies with the thematic requirements in addition to the formal requirements indicated in these instructions, it will be sent out to external academic peers who determine on an anonymous basis: a) publish without changes, b) publish corrections they have complied with minor corrections, c) publish once having made a thorough review, d) reject. In case of discrepancy between the two results, the text will be sent to a third referee, whose decision will define its publication.

Dictamination process is carried out by academic peers specialists under double-blind mode. Each pair will review academic quality, originality, significance and practical value of the work.

Notification of acceptance or rejection of the article will be via e-mail. The report will be emitted into the authors during the month following the submission of the manuscript. The results of the academic opinion will be final in all cases.

In general, most valued aspects of background will be the consistency and relevance of collaboration in advancing academic and professional knowledge of science. It is necessary to remember that each type of job has its own textual and conceptual structure, depending on the amount and potential readers.

## Copyright

The journal *Lámpsakos* requires granting authors ownership of their copyrights, for their item and materials to be reproduced, published, edited, set and reported and publicly transmitted in any form means, and their distribution in the number of copies required, and public communication, in each of its forms including the making available to the public through electronic, optical or other purpose any technology exclusively scientific, cultural, media and nonprofit. It has the letter of assignment of rights to do so.

## Originality letter

The works published in the magazine, without exception, are welcomed to the rules of Copyleft and Creative Commons, and that the publication is freely distributable for knowledge, and may be reproduced by any means making mention of the source. The au-

thor or authors authorize the magazine and the Institution to edit and disseminate/publish the article by any national and/or international, print or electronic.

Each article is accompanied by a statement of originality in specifying that has not been published and not simultaneously submitted to other publications before knowing the decision editorial committee.

The author or authors accept the editorial policies and guidelines of the guide. Their articles are the result of a research of the authors and has been previously assessed by expert colleagues before acceptance for publication.

The opinions and affirmations accepted for publication reflect exclusively the points of view of their authors and do not necessarily compromise the policies and thinking of either Fundación Universitaria Luis Amigó, the Faculty of Engineering or the journal *Lámpsakos*.