

Lámpsakos

No. 21 | pp. 1-105 | enero-junio | 2019 | Medellín - Colombia

Presentación

Editorial

Enseñanza de la Ingeniería
Teaching Engineering
Gabriel Naranjo-Pizano

Artículos de investigación científica y tecnológica

Modelo hiperheurístico y simulación para la optimización de la inyección de potencia desde micro generación en sistemas eléctricos de distribución de baja tensión

Hyperheuristic model and simulation to optimization of power injection by micro generation in low voltage electrical distribution systems
Gustavo Alejandro Schweickardt

Máquinas de soporte vectorial y árboles de clasificación para la detección de operaciones sospechosas de lavado de activos

Support vector machines and classification trees for the detection of suspicious operations of money laundering
Marlon Efraín Gracia Granados

Pruebas a aplicaciones móviles: avances y retos

Testing to mobile applications: advances and challenges

Sandra Milena Velásquez, Doris Elena Monsalve Sossa, Marta Ester Gómez Adasme, Mauricio Eduardo Zapata, Juan Pablo Ríos

Análisis de los efectos de la descarga del canal del dique sobre la estratificación salina de su desembocadura a la bahía de Cartagena

Analysis of the effects the discharge of dique's channel on saline stratification of its river mouth in Cartagena's bay

Jessica Patricia Álvarez Carval, Cesar Augusto Tovia Gracia

Manejo de residuos de construcción y demolición en el municipio Guamo, Tolima

Management of construction and demolition waste in the Guamo municipality, Tolima

Sandra Pinzón Galvis, Fredy Geney Cortes Montealegre

Evaluación del desarrollo en infraestructura fluvial para el corredor logístico del río Magdalena

Evaluation of fluvial infrastructure for the logistical corridor of the Magdalena river

Andrés Ignacio Zamudio Castro, Giovanni Alexander Baquero Villamil, Mateo Pachón Rincón

©Universidad Católica Luis Amigó
Transversal 51A N°. 67B-90
Medellín, Antioquia, Colombia
Tel: (574) 448 76 66.
Fondo Editorial Universidad Católica Luis Amigó
www.ucatolicaluissamigo.edu.co-fondo.editorial@amigo.edu.co

Lámpsakos

N°. 21, enero-junio de 2019

ISSN (En línea)

2145-4086

Rector

Pbro. Carlos Enrique Cardona Quiceno

Vicerrectora de Investigaciones

Isabel Cristina Puerta Lopera

Decano Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

Cordinadora del Fondo Editorial Universidad Católica Luis Amigó

Carolina Orrego Moscoso

Diseño y diagramación

Arbey David Zuluaga Yarce

Corrector de estilo

Rodrigo Gómez Rodas

Traductores

Lina Marcela Gutierrez, Leslie Lopera y Evelin Quiceno

Directora de la revista

Ingrid-Durley Torres Pardo, MSc.

Lámpsakos

Comité Científico

Marcelo Becker, Ph.D
Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil

José María Yusta-Loyo, Ph.D
Universidad de Zaragoza (Unizar), España

Gustavo Alejandro Schweickardt, Ph.D
Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina

Bizuayehu Abebe-Worke, Ph.D
Universidade da Beira, Covilhã, Portugal

Aldo Pardo-García, Ph.D.
Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

Marta Silvia Tabares-Betancur, Ph.D
Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

Yuri Ulianov-López, Ph.D
Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

Andrés Felipe Agudelo-Santamaría, Ph.D
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Comité Editorial

Rubén Ángel Galindo-Aires, Ph.D
Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España

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

Óscar Sapena-Vercher, Ph.D
Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España

Amit Chaudhry, Ph.D
Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India

Luis Fernando Garcés-Giraldo, Ph.D
Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia

Nazly E. Sánchez-Peña, Ph.D
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia

Nourou Khalidou Dia, Ph.D
Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania

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

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

Árbitros

Mariana Evangelina Cocóla, PhD
Universidad Tecnológica Nacional, Santa Fe, Argentina

Jaime Alberto Guzmán-Luna, PhD
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia

Jhon Jairo Ramírez Echeverry, PhD
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Colombia

Gabriel Jaime Correa Henao, PhD.
Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia

Julián Alberto Patiño Murillo, PhD
Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia

Rubén Gómez Gutiérrez PhD(c)
Universidad Católica Luis Amigó Medellín, Colombia

Javier Augusto Vera Solano PhD (c)
Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

Yolfaris Naidit Fuertes Arrollo, Ms.C.
Corporación Universitaria REMIGTONG, Medellín, Colombia

Jorge Mauricio, Sepúlveda, Ms.C.
Corporación Universitaria REMIGTONG, Medellín, Colombia

Jorge Velásquez-Cock, PhD
Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

Amilkar David Alvarez Cuadrado, MsC.
Universidad Católica Luis Amigó Medellín, Colombia

Institución editora

Universidad Católica Luis Amigó

Dónde consultar la revista

<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/index>

Envío de manuscritos

<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/user/register>

Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens
Universidad Católica Luis Amigó
Medellín, Antioquia, Colombia

Contacto editorial

Ingrid-Durley Torres Pardo, MSc.
Directora/Editora Lámpsakos

Correo electrónico

lampsakos@amigo.edu.co

Universidad Católica Luis Amigó
Transversal 51A # 67B-90
Medellín-Colombia
Teléfono: (574) 4607004

Lámpsakos - Acceso abierto

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó.

Hecho en Colombia / Made in Colombia.

Financiación y publicación realizada por la Universidad Católica Luis Amigó. En ningún momento de la edición o difusión se hacen cobros a los autores para sufragar alguna de estas actividades; de tal manera que no recibe aportes económicos de personas naturales ni jurídicas.

Los principios éticos de esta revista se describen en sus políticas editoriales y, además, se adhieren a los procedimientos dictados por el Committee on Publication Ethics (COPE), que podrán ser consultados en www.publicationethics.org.

© 2019 Universidad Católica Luis Amigó



OPEN ACCESS

La revista y los textos individuales que en esta se divulgan están protegidos por las leyes de copyright y por los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <http://www.funlam.edu.co/modules/fondoeditorial/>

Derechos de autor. El autor o autores pueden tener derechos adicionales en sus artículos según lo establecido en la cesión por ellos firmada.

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

La revista *Lámpsakos* es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación en línea de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

Los temas tratados en la revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería.

Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en todas las disciplinas de la Ingeniería.

Lámpsakos journal is a publication sponsored by the Faculty of Engineering and Architecture of the Luis Amigó Catholic University, in the city of Medellín, Colombia. It aims to divulge original and unpublished articles as a result of scientific and technological research in the areas of engineering. It is published twice a year (issued in June and December) with national and international coverage. The journal is a free access online magazine, published under standards of scientific rigor and editorial quality.

Topics covered in the journal are addressed to all persons in academic, researching, scientific and professional areas from different educational and productive sectors and firms whose activities are performed on engineering.

The journal publishes papers of scientific, professional and technological in all the disciplines of engineering

Lámpsakos

Índice general

Presentación

Editorial

Enseñanza de la Ingeniería

Teaching Engineering

Gabriel Naranjo-Pizano

8

Artículos de investigación científica y tecnológica

Modelo hiperheurístico y simulación para la optimización de la inyección de potencia desde micro generación en sistemas eléctricos de distribución de baja tensión

Hyperheuristic model and simulation to optimization of power injection by micro generation in low voltage electrical distribution systems

Gustavo Alejandro Schweickardt

13

Máquinas de soporte vectorial y árboles de clasificación para la detección de operaciones sospechosas de lavado de activos

Support vector machines and classification trees for the detection of suspicious operations of money laundering

Marlon Efraín Gracia Granados

26

Pruebas a aplicaciones móviles: avances y retos

Testing to mobile applications: advances and challenges

Sandra Milena Velásquez, Doris Elena Monsalve Sossa, Marta Ester Gómez Adasme, Mauricio Eduardo Zapata, Juan Pablo Ríos

39

Análisis de los efectos de la descarga del canal del dique sobre la estratificación salina de su desembocadura a la bahía de Cartagena

Analysis of the effects the discharge of dique's channel on saline stratification of its river mouth in Cartagena's bay

Jessica Patricia Álvarez Carval, Cesar Augusto Tovia Gracia

51

Manejo de residuos de construcción y demolición en el municipio Guamo, Tolima

Management of construction and demolition waste in the Guamo municipality, Tolima

Sandra Pinzón Galvis, Fredy Geney Cortes Montealegre

65

Evaluación del desarrollo en infraestructura fluvial para el corredor logístico del río Magdalena

Evaluation of fluvial infrastructure for the logistical corridor of the Magdalena river

Andrés Ignacio Zamudio Castro, Giovanni Alexander Baquero Villamil, Mateo Pachón Rincón

75

Presentación

Estilo de citación de artículo:

I-D, Torres Pardo, [Presentación], *Lámpsakos*, (21), pp. 6-7. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3305>

Lámpsakos, conservando su orientación al área de la ingeniería, presenta en su número 21, correspondiente a enero-junio de 2019, seis artículos del área de la ingeniería eléctrica, la ingeniería ambiental y las ciencias de la computación. Con esta variedad temática, Lámpsakos espera compartir con sus lectores algunos de los principales resultados de investigaciones, para contribuir a la diseminación del conocimiento científico.

El primer artículo [1] oferta una solución basada en metaheurísticas, para el problema de optimización (PO) de la inyección de potencia proveniente de microgeneradores (MG) en un sistema eléctrico de distribución de energía (SEDE) de baja tensión (BT). El lector hallará un manuscrito enriquecido con un conjunto de fórmulas matemáticas que soportan la presentación de tres algoritmos, los cuales dan cuenta del cuidadoso ejercicio de investigación llevado a cabo por el autor para resolver el problema focalizándose en los paneles solares fotovoltaicos.

El siguiente artículo [2] se concentra en evaluar los principales métodos de detección de operaciones inusuales de lavado de activos que se encuentran en

la literatura, para determinar cuáles técnicas ofrecen los mejores resultados y, a partir de estas, generar un nuevo modelo que permita aminorar el impacto de los falsos positivos que se producen en la realización de operaciones sospechosas de lavado de activo. El manuscrito oferta al lector una solución centrada en dos de las técnicas más usadas del área de la inteligencia artificial como son las máquinas de soporte vectorial y los árboles de decisión, generando métricas que ayuden a determinar cuál de estas tiene un mejor desempeño, para usarla como base del nuevo modelo de detección, con mejores características.

El texto que continua [3] expone una reflexión resultado de un proyecto de investigación orientado a la realización de pruebas para valorar una aplicación móvil. En este manuscrito, los lectores encuentran una exposición descriptiva de las pruebas a las que se puede someter este tipo de aplicaciones antes de ponerlas en el mercado; tales pruebas, pueden depender o bien de la fase de desarrollo de la aplicación o de algunas de sus características.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3305>

El cuarto artículo [4] analiza los efectos de la descarga del canal del Dique soportados a través de la simulación y validación de parámetros que influyen sobre la estratificación salina de la zona de desembocadura a la bahía de Cartagena. Este manuscrito incluye un conjunto de imágenes resultado de las simulaciones efectuadas mediante el software de modelación numérica Delft3D, el cual resulta útil a este propósito por su capacidad de recrear y predecir bajo condiciones dadas, la hidrodinámica que se presenta en ecosistemas estuarinos.

El artículo siguiente [5] tiene como finalidad identificar las prácticas con las cuales se manejan los residuos de construcción y demolición del municipio del Guamo, Tolima, comparándolas con los lineamientos jurídicos, para otorgar una visión holística que permita ser fuente para la toma de programas de gobierno. En este artículo, los lectores hallarán los principales hallazgos de una investigación desde el área de la ingeniería ambiental, que otorga un diagnóstico real de la situación del municipio del Guamo.

El cierre de esta edición [6] se concentra en exponer cómo ha sido el desarrollo de la infraestructura fluvial del corredor logístico aledaño al río Magdalena. La exposición describe la inversión en desarrollo e infraestructura que se viene desarrollando en los puertos, así como presenta el recorrido de la operación en el corredor actualmente, acompañado de los planes de inversión.

Finalmente, invitamos a al público nacional e internacional, con interés manifiesto en los temas actuales y científicos de la Ingeniería a que siga nuestras publicaciones, realice la lectura de los temas de su interés, comparta títulos con sus colegas y amigos contribuyendo a la divulgación y socialización del conocimiento. Esperamos exista motivación para allegar sus artículos a nuestro repositorio, recordando la convocatoria permanente.

REFERENCIAS

- [1] G. A. Schweickardt, "Modelo hiperheurístico y simulación para la optimización de la inyección de potencia desde micro generación en sistemas eléctricos de distribución de baja tensión", Lámpsakos, (21), pp. 13-25, (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3034>
- [2] [M. E. Gracia Granados, "Detección de operaciones sospechosas del lavado de activos, usando máquinas de soporte vectorial y árboles de clasificación", Lámpsakos, (21), pp. 26-38, (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>
- [3] [S. M. Velásquez, D. E. Monsalve Sossa, M. E. Gómez Adasme, M. E. Zapata, y J. Pablo Río, "Pruebas a Aplicaciones Móviles: Avances y Retos", Lámpsakos, (21), pp. 39-50, (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2983>
- [4] [J. P. Álvarez Carval, y C. A. Tovia Gracia, "Análisis de los efectos de la descarga del canal del Dique sobre la estratificación salina de su desembocadura a la Bahía de Cartagena", Lámpsakos, (21), pp. 51-64, (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2950>
- [5] [S. Pinzón Galvis, y F. G. Cortes Montealegre, "Manejo de residuos de construcción y demolición en el municipio de Guamo-Tolima", Lámpsakos, (21), pp. 65-74, (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2930>
- [6] [A. I. Zamudio Castro, G. A. Baquero Villamil, y M. Pachón Rincón, "Evaluación del desarrollo en infraestructura fluvial para el corredor logístico del río Magdalena", Lámpsakos, (21), pp. 75-84, (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2691>

Editorial

Enseñanza de la Ingeniería

Gabriel Naranjo-Pizano*

(Recibido el 13-09-2018, Aprobado el 3-10-2018)

Estilo de citación de artículo:

G. Naranjo-Pizano, "Enseñanza de la Ingeniería" [Editorial], *Lámpsakos*, (21), pp. 8-9. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2934>

La presencia de la Ingeniería en la vida de la humanidad data de las más remotas edades: los fabricantes de las pirámides egipcias, aztecas, mayas, incas, y sus ya conocidas vías de comunicación; los fabricantes de la muralla china; los constructores de las grandes catedrales en todo el mundo; todos ellos tenían amplios conocimientos de Ingeniería y Astronomía. Estas dos ciencias se vienen desarrollando de la mano en la larga historia de los seres humanos.

Ya en los tiempos modernos apareció primero la Ingeniería Militar, destinada a la construcción de vías de comunicación y puentes para vencer los ríos; luego floreció la Ingeniería Civil con grandes avances en esta magnífica ciencia-arte.

Fueron apareciendo a medida del paso de los tiempos y para cubrir las nuevas necesidades del hombre moderno, las distintas ramas de la Ingeniería moderna: de Minas, Química, Eléctrica, Mecánica, Industrial, Administrativa, de Petróleos, Sistemas, Forestal, y las más nuevas, Aeronáutica, de Nanotecnología, de Diseño, y un largo etcétera.

Pero la Ingeniería sigue siendo una, con múltiples especialidades. No se concibe que se diga, por ejemplo, Facultad de Medicina Oncológica, Facultad de Medicina Ortopédica, Facultad de Medicina Oftalmológica, y demás. Estas son especialidades de una ciencia, la Medicina. Tampoco es de común ocurrencia que se diga Facultad de Derecho Penal, Facultad de Derecho Civil, etc., es la ciencia del Derecho con sus múltiples especialidades. Y así se podría seguir hablando de las otras áreas del saber humano.

La Ingeniería es una, y en su enseñanza quiero concentrar estos comentarios.

La formación de los futuros ingenieros ha de ser integral. No se puede concebir su enseñanza dando fortaleza al conocimiento de un oficio. Es importante tener presente que su futuro desempeño profesional estará entre seres humanos, por lo cual la formación humanista ha de tener preponderancia en su currículo.

La Ciencia Básica es muy importante en la creación de una mentalidad ingenieril, pero no puede convertirse en una herramienta para reducir sistemáticamente

* Ingeniero Mecánico, Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM). Medellín-Colombia. Correo electrónico: ganapiz@une.net.co

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2934>

los grupos de los nuevos estudiantes. El neo estudiante ha de tener presencia en la solución de los problemas del entorno social en el cual se desenvuelve, por lo tanto, un semestre de práctica empresarial o de servicio social obligatorio se hace imprescindible en el plan de estudios.

La ética profesional no debe considerarse una materia más en el plan de estudios o currículo. La universidad debe tener muy presente que la masa juvenil que está formando es dúctil y maleable y, por tanto, debe preocuparse de tener un cuerpo profesoral que represente verdaderos valores éticos. No basta con tener un cajoncito por allá en la malla curricular que se llame ética profesional. Así no se imparte la ética. Es el ejemplo permanente de los docentes, de los maestros, lo que infunde el verdadero espíritu de ética profesional. Y esta huella impresa en lo más profundo de su ser acompañará el desempeño profesional del neo ingeniero, acompañamiento tan indispensable hoy en día cuando se han perdido los valores en la práctica profesional.

En la actualidad, los estudiantes de Ingeniería cuentan con desarrollos tecnológicos de gran avanzada, lo que les permite una mejor respuesta a la problemática que la profesión les demanda.

La investigación práctica ha de tener presencia en la formación profesional de los nuevos ingenieros. El antiguo papel de transmisores de conocimiento de los profesores se transforma así en generador de conocimiento.

El *para qué* de la universidad moderna se redefine en la formación amplia, integral y democratizadora de los jóvenes y en la construcción de un importante potencial de respuesta a los problemas de la sociedad. No basta con formar a alguien en los secretos de un oficio. Se espera que el egresado sea también una persona ética y socialmente responsable.

Editorial

Teaching Engineering

Gabriel Naranjo-Pizano¹

(Recibido el 13-09-2018, Aprobado el 3-10-2018)

Estilo de citación de artículo:

G. Naranjo-Pizano, "Enseñanza de la Ingeniería" [Editorial], *Lámpsakos*, (21), pp. 10-11. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2934>

The presence of Engineering in the life of humanity dates from the most remote ages: The manufacturers of the Egyptian, Aztec, Mayan, Inca pyramids, and their already well-known means of communication; the makers of the Chinese wall; the builders of the great cathedrals throughout the world; all of them had extensive knowledge of Engineering and Astronomy. These two sciences have been developed hand in hand in the long history of human beings.

In the modern times, Military Engineering appeared first, destined to the construction of communication roads and bridges to overcome the rivers; Civil Engineering then flourished with great advances in this magnificent science-art.

The different branches of modern Engineering: Mining, Chemical, Electrical, Mechanical, Industrial, Administrative, Petroleum, Systems, Forestry, and the newest Aeronautics, Nanotechnology, Design, among others, were appearing as time went by to meet the new needs of modern man.

But Engineering is still one, with multiple specialties. As it is not conceivable to say, for instance, School of Oncological Medicine, Faculty of Orthopedic Medicine, Faculty of Ophthalmological Medicine, and others; these are specialties of a science: Medicine. Or it is not common occurrence to say Faculty of Criminal Law, School of Civil Law, and so on; it is the science of law with its many specialties. And so we could continue talking about the other areas of human knowledge.

Engineering is one, and I want to concentrate my comments in its teaching. The training of future engineers must be integral; you cannot conceive its teaching by only giving strength to the knowledge of a trade. It is important to keep in mind that its future professional performance will be among human beings, for which humanistic training must have a preponderance in its curriculum.

Basic Science is very important in the creation of an engineering mentality, but it cannot become a tool to systematically reduce groups of new students. The neo-student must have presence when solving problems of the social environment where they develop

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2934>

professionally, therefore, a semester of business practice or compulsory social service is essential in the curriculum.

Professional ethics should not be considered as another subject in the curriculum. The university must bear in mind that the youth group that is forming is malleable and, therefore, should be concerned with having a teaching body that represents true ethical values. It is not enough to have a little box in the curriculum that is called professional ethics. Ethics should not be taught that way. It is the permanent example of teachers what inspires the true spirit of professional ethics. And this imprint marked in the depths of the neo-engineer's being will accompany his professional performance, an accompaniment so indispensable today when values have been lost in professional practice.

At present, engineering students have advanced technological developments, which allows them a better response to the problems that the profession demands.

Practical research must have a presence in the professional training of new engineers. The former role of transmitters of knowledge of teachers is thus transformed into a generator of knowledge.

The purpose of the modern university is redefined in the broad, integral and democratizing formation of young people and in the construction of an important potential to respond to the problems of society. It is not enough to train someone in the secrets of a trade. It is expected that the graduate is also an ethical and socially responsible person.

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

RESEARCH ARTICLE

Modelo hiperheurístico y simulación para la optimización de la inyección de potencia desde micro generación en sistemas eléctricos de distribución de baja tensión

Hyperheuristic model and simulation for the optimization of power injection from micro generation in low voltage electrical distribution systems

Gustavo Alejandro Schweickardt*

(Recibido el 06-08-2018. Aprobado el 03-12-2018)

Estilo de citación de artículo:

G. A. Schweickardt, "Modelo hiperheurístico y simulación para la optimización de la inyección de potencia desde micro generación en Sistemas Eléctricos de Distribución de Baja Tensión", *Lámpsakos*, (21), pp. 13-25. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3034>

Resumen.

El presente trabajo aborda los desarrollos requeridos para resolver el problema de optimizar la inyección de potencia proveniente de micro generadores en sistemas eléctricos de distribución de energía (SEDE) de baja tensión (BT), focalizándose en los paneles solares fotovoltaicos (MG FV). Para tal propósito, se toman como referencia los conceptos y desarrollos generales presentados en artículos previos del autor, y se detallan los mismos, orientándolos a dos hiperheurísticas Basadas en Razonamiento, con dominio en metaheurísticas variantes de PSO, Formas (X-FPSO) y Cardumen de Peces Artificiales (FAFS) multiobjetivo. Estas hiperheurísticas fueron referidas como HY CBR X-FPSO y HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI, siendo la segunda la que mejora los resultados en comparación con la primera, resolviendo las dos limitaciones observadas en esta. Se describe también la paralelización del algoritmo hiperheurístico HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI, en las dos variantes descriptas, empleando la plataforma MPI. Finalmente, se presenta una simulación sobre un SEDE con MG FV BT real, mediante ambos algoritmos hiperheurísticos, comparando los resultados.

Palabras clave: Hiperheurísticas; Metaheurísticas; Microgeneración distribuida; Computación paralela; Sistema de distribución de energía eléctrica; Micro generación; Simulación para la optimización; Baja tensión; Potencia; Paneles solares.

* Doctor en Ingeniería/Economía Energética. Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Universidad Tecnológica Nacional. Director del grupo de investigación sobre Economía Computacional de Regulación de Redes y Energías Renovables, Concepción del Uruguay-Argentina. Correo electrónico: gustavoschweickardt@conicet.gov.ar

Abstract.

This paper addresses the processes required to solve the problem of optimizing the injection of power from micro generators in electric power distribution system (SEDE) of low voltage (BT), focusing on photovoltaic solar panels (MG FV). For this purpose, the concepts and general developments presented in previous articles by the author are taken as a reference, and they are detailed, leading to two hyper-heuristics based on reasoning, with mastery in variant meta-heuristics of PSO, Forms (X-FPSO) and Fast Artificial Fish Swarm (FAFS) multi-objective. These hyper-heuristics were referred to as HY CBR X-FPSO and HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI, the latter being the one that improves the results compared to the first one, solving the two limitations observed at this point. The parallelization of the hyper-heuristic algorithm HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI is also described, in the two afore-mentioned variants, using the MPI platform. Finally, a simulation is presented on a SEDE with real MG FV BT, through both hyper-heuristic algorithms, comparing the results.

Keywords: Hyper-heuristics; Meta-heuristics; Distributed micro-generation; Parallel computing; Electric power distribution system; Micro-generation; Simulation for optimization; Low voltage; Power; Solar panels.

1. INTRODUCCIÓN

Siguiendo los desarrollos generales presentados en [1], y sustentados adicionalmente en [2], [3], [4] y [5], el presente trabajo aborda los detalles correspondientes a la solución del problema de optimización (PO) de la inyección de potencia proveniente de microgeneradores distribuidos (MG) en un sistema de eléctrico de distribución de energía (SEDE) de baja tensión (BT), focalizándose en la instalación de paneles solares fotovoltaicos. Se procura buscar el Vector Óptimo de Inyecciones de Potencia (VOInyP) proveniente de tales MG, sujeto a diversas restricciones y cumpliendo otros objetivos complementarios. El número de componentes de este vector será, entonces, el número de MG inyectando cierta potencia a la red del SEDE BT. Este problema será indicado de aquí en adelante mediante sus acrónimos (VOInyP MG FV SEDE BT). Como se ha dicho en [1], este (PO), por pertenecer a los campos de conocimiento de la economía computacional, la teoría económica de regulación, y al de los sistemas eléctricos de distribución, se incluye en la clase de problemas indicada por el autor mediante el acrónimo CP ECRRED. Esta es la CP donde operan ambos modelos hiperheurísticos descritos en [1]: el HY CBR X-FPSO, que se aplicará sobre el PO bajo análisis para tener una base de resultados, y el HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI, el cual mejora, comparativamente, los mismos, resolviendo los inconvenientes observados en el primero, tal como se verá en las simulaciones realizadas.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera:

En la sección 2 se plantea el modelo general para resolver el Problema VOInyP MG FV SEDE BT. Luego se describen los conjuntos difusos/borrosos solidarios a cada Objetivo-R restricción, O-R, según el principio de optimalidad en la toma de decisiones en contextos borrosos [2], [3] y [4]. A partir de cada función de pertenencia/membresía de cada uno de estos conjuntos, μ_{O+R} , siendo O+R un Objetivo-R restricción genérico en el conjunto {O+R}, es obtenida la Función de Aptitud, μ_{Dc} , en el conjunto borroso de decisión, CBorrDc. Para ello es definido el operador más apropiado a aplicar sobre las μ_{O+R} . De este modo, al operar cada una de

las Formas (X-PSO + AFS) sobre CBorrDc, quedan establecidas sus extensiones multiobjetivo, (X-FPSO + FAFS), confiriéndoles, adicionalmente, la capacidad de tratar con incertidumbres de valor en las variables involucradas (de carácter no estocástico), como las que se presentan en los PO multiobjetivo pertenecientes a la CP ECRRED.

En la sección 3 se proporcionan detalles del método de entrenamiento de las RNAR \equiv FS para los dos algoritmos hiperheurísticos en cuestión, ya que es diferente respecto al utilizado en aplicaciones anteriores. Los detalles de la primera variante (MPI V1), que determina el número óptimo de núcleos, son presentados por [1]. Particularmente, para la segunda variante, MPI V2, se intenta cumplir, en la mayor medida posible, con los 5 Principios IC, de modo que el número de núcleos estará predefinido en 5, y se asigna a cada núcleo una variante de las 4 que componen el dominio de la HY CBR (X-FPSO + FAFS). Esto modifica el tipo de números (ahora enteros, no binarios) y su codificación en la salida de la RNAR \equiv FS, utilizada en la HY CBR X-FPSO, pero no su estructura. De manera que es enfatizada tal modificación, y se identifica el método de entrenamiento supervisado para ambas RNAR.

En la sección 4 se presentan las simulaciones realizadas para resolver el PO VOInyP MG FV SEDE BT. Para ello se considera, como SEDE BT y sin pérdida de generalidad, la red correspondiente a una salida de un Transformador MT/BT real, que ya fue adoptada como estudio de caso por el autor en [2], [3], [4] y [5], para resolver uno de los PO pertenecientes a la CP ECRRED: el balance de cargas monofásicas en Redes de SEDE BT. La diferencia respecto del PO abordado en el presente trabajo estriba en que un cierto número de cargas de la red pasan a ser MG FV, modificando por completo el PO a resolver.

Se presentan, entonces, tres simulaciones sobre esta nueva configuración de cargas + MG para la red propuesta: a) solución del VOInyP mediante la HY CBR F-PSO; b) solución del VOInyP mediante la HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI V1; y c) solución del VOInyP mediante la HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI V2.

Luego se comparan y discuten los resultados de cada una.

Finalmente, en la sección 5, se presentan las conclusiones más relevantes del trabajo.

Modelo general para resolver el problema voinymp mg fv sede Bt

Formulación clásica

El modelo de optimización general planteado en términos clásicos es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 &FO \rightarrow \\
 &Max = VP_{Iny} = \begin{bmatrix} PFV_{Iny1} \\ PFV_{Iny2} \\ \dots \\ PFV_{InyMGD} \end{bmatrix} \\
 &Min |I_h| \\
 &Min [Perd_{PT}]
 \end{aligned} \quad (1)$$

Sujeto a:

- 1) $\forall i \in [1 \dots MGD], PFV_{Inyi} \leq PFV_{InyMax}^i$
- 2) $\forall n \in [1 \dots nN_{[R,S,T]}], U_{LimMin} \leq |U_{n[R,S,T]}| \leq U_{LimMax}$
- 3) $U_{CTLimMin} \leq |US_{[R,S,T]}| \leq U_{CTLimMax}$
- 4) $\forall r \in [1 \dots nR_{[R,S,T]}], |I_{r[R,S,T]}| \leq I_{LimMax}$

Siendo: MGD, el número de MG FV distribuidos en el SEDE BT considerado; PFV_{Inyi} , con i en $[1 \dots MGD]$, la potencia de inyección FV del MG i -ésimo;

$|I_h|$, el módulo de la componente homopolar en el SEDE BT considerado, originada por el desbalance de cargas en cada fase del sistema (las cargas son monofásicas, al igual que las inyecciones, puesto que este es el caso peor);

$Perd_{PT}$ son las pérdidas totales de potencia activa;

$U_{LimMin} \leq |U_{n[R,S,T]}| \leq U_{LimMax}$ es una restricción técnica-regulatoria, que implica que el módulo de la tensión en cada Fase $[R,S,T]$, de cada nodo n del SEDE BT, $|U_{n[R,S,T]}|$, se mantenga superior/igual a U_{LimMin} e inferior/igual U_{LimMax} ;

$U_{CTLimMin} \leq |US_{[R,S,T]}| \leq U_{CTLimMax}$ es una restricción técnica que refiere lo mismo, pero a la salida (secundario) del Transformador de Distribución MT/BT que se considera, tal como se plantea en las Simulaciones;

$\forall r \in [1 \dots nR_{[R,S,T]}], |I_{r[R,S,T]}| \leq I_{LimMax}$ es una Restricción Técnica que establece que la corriente en cada rama r , y en cada Fase $[R,S,T]$ no supere el Límite Térmico Máximo I_{LimMax} , según el conductor empleado.

El Vector VP_{Iny} tiene como componentes las *variables de control* del PO: las PFV_{Inyi} con i en $[1 \dots MGD]$. El resto de las variables ($|I_h|$, $Perd_{PT}$, $|U_{n[R,S,T]}|$, $|US_{[R,S,T]}|$, $|I_{r[R,S,T]}|$) son *variables de estado*.

Esto implica que, independientemente del Método de Optimización, el Espacio de Búsqueda tendrá MGD dimensiones, sobre valores continuos, acotados en el intervalo $[0, PFV_{InyMax}^i]$, según la Restricción 1).

El límite PFV_{InyMax}^i , como se verá al abordar las Simulaciones, depende, en general, de cada usuario MG FV^{*i*}. Esto es así porque es establecido según la Potencia Máxima del Panel Fotovoltaico del MG FV^{*i*}. Si esta superara la Potencia Contratada por el mismo

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3034>

a la empresa que explota el Servicio de Distribución, cuando *no inyecta excedentes de energía* a la red, (comportándose como un usuario *consumidor*), el límite PFV_{InyMax}^i vendrá dado, regulatoriamente, por su Potencia Contratada.

Por tal razón, en los marcos regulatorios aplicados a un SEDE BT con MG FV (u otra fuente de energía primaria renovable, en general), se habla de usuario *prosumidor*: Puede ser *productor* (MG) o *consumidor* de energía eléctrica.

Una situación donde el *prosumidor* es forzosamente *consumidor* ocurre en horarios nocturnos, por caso, considerando que los sistemas MG FV conectados a redes (es decir, que no operan en forma aislada), no están dotados de medios para acumular energía (banco de baterías, por ejemplo).

De modo que, conforme se explicará en la propuesta de solución para este PO, localizado un cierto VP_{Iny} en el Espacio de Búsqueda, en cada instancia, se corre una Herramienta *software* para el Análisis de Funcionamiento en Régimen Permanente, denominada Flujo de Potencia Trifásico [6] y [7], la cual, según los datos proporcionados sobre el SEDE MG FV BT, calcula: $(|I_h|, Perd_{PT}, |U_{n[R,S,T]}|, |US_{[R,S,T]}|, |Ir_{[R,S,T]}|)$, tomando en consideración todos los límites establecidos, e intenta maximizar cada componente de VP_{Iny} , a la vez que intenta minimizar $|I_h|$ y $Perd_{PT}$, cumpliendo las restricciones sobre $|U_{n[R,S,T]}|, |US_{[R,S,T]}|$ y $|Ir_{[R,S,T]}|$, iterando hasta lograr la mejor solución.

Desde aquí puede observarse la complejidad inherente a este PO, la cual hace colapsar a los Métodos Clásicos de Optimización No Lineal en la búsqueda de una solución óptima.

Construcción de los conjuntos difusos {O+R}

Forma genérica de los conjuntos borrosos solidarios a cada objetivo-restricción

En la Fig.1 se presenta el constructo general para los Conjuntos Borrosos $CBorr_{O+R}$ solidarios a cada Objetivo-Restricción.

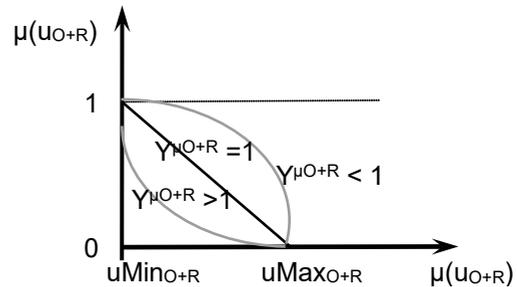


Fig. 1: Estructura general de los $CBorr_{(O+R)}$

En esta figura se aprecia que la función de membresía para cada conjunto $CBorr_{(O+R)}$ es, en principio, *lineal* (recta más oscura).

La variable genérica u_{O+R} es aquella asignada a cada uno de los objetivos + restricciones del conjunto {O+R}. Se observa que tal variable presenta una aptitud $\mu(u_{O+R})$, que es *máxima* en $uMin_{O+R}$ y *mínima* en $uMax_{O+R}$. De forma tal que la construcción de cada conjunto $CBorr_{(O+R)}$ supone un cuidadoso análisis.

Esto implica que, conforme sea la variable u_{O+R} solidaria al Objetivo-Restricción (O+R)-ésimo, la definición del conjunto $CBorr_{(O+R)}$ será diferente.

Por ello, cada construcción es tratada de manera individual en los epígrafes siguientes, según el modelo general (1).

Adicionalmente, en la Fig. 1 se observan dos *funciones no lineales*. Las mismas provienen de considerar la importancia o peso que cada $CBorr_{(O+R)}$ tiene en la composición del conjunto borroso de decisión, $CBorr_{Dc}$, tal como es explicado en las referencias [2] a [5]. Al referirse a la importancia de cada $CBorr_{(O+R)}$, se intenta

captar la prioridad que se le confiere al cumplimiento de cada O+R en el Modelo (1), en la toma de decisiones multiobjetivo.

Conforme estas referencias, tal importancia queda formalmente establecida mediante la afectación de cada función de membresía, $\mu(u_{0+R})$, según su *peso exponencial* [8]. El mismo puede ser obtenido, al menos, mediante dos métodos:

1ro) Método auto-valor/auto-vector a partir de la Matriz de Importancia entre pares de O+R [9].

2do) Aplicación de Programas Lineales Acoplados sobre los valores consignados como entradas en la Matriz de Importancia entre pares de O+R, propuesto por el autor y descrito en detalle en [10] y [11].

El segundo proporciona resultados más precisos que los generados por el primero, particularmente cuando el número de O+R es elevado (por caso, ≥ 9). Además, puede ser empleado cuando las importancias (números en cierto intervalo predefinido por el tomador de decisiones) entre pares de O+R, presentan incertidumbres de valor, también captadas mediante su representación como Números Borrosos. Pero es mucho más complejo de implementar que el primer Método.

Por tanto, para el PO a resolver, y sin por ello pérdida de generalidad, se optó por aplicar el primero. Los detalles se proporcionan de forma completa en la referencia [8]. Aquí solo se mencionan sus resultados al aplicarlo en la sección 4.

Si $Y^{\mu_{0+R}} = 1$, $\mu(u_{0+R})$ es lineal, la importancia del Objetivo-R restricción no se afecta. Si $Y^{\mu_{0+R}} < 1$, $\mu(u_{0+R})$ resulta afectada, y la importancia del O+R es *menor* que la de cualquier otro con una $\mu(u_{0+R})$ lineal. Y si $Y^{\mu_{0+R}} > 1$, $\mu(u_{0+R})$ resulta afectada, y la importancia del O+R es *mayor* que la de cualquier otro que tenga asociada una $\mu(u_{0+R})$ lineal.

Conjunto borroso solidario al vector VP_{Iny}

Para esta formulación es definida la variable uVP_{Iny} del siguiente modo:

$$uVP_{Iny} = \left[1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{MGD} PFV_{Iny}^i \right)}{\left(\sum_{i=1}^{MGD} PFV_{InyMax}^i \right)} \right] \quad (2)$$

De manera que si todos los MG FV^i inyectasen su Potencia Máxima, uVP_{Iny} es igual al valor $uVP_{InyMin} = 0$, y debería resultar $\mu(uVP_{InyMin}) = 1$. En cambio, para el límite superior, si todos los MG FV^i inyectasen su Potencia Mínima (igual a 0), $uVP_{InyMin} = 1$, debería obtenerse $\mu(uVP_{InyMin}) = 0$.

Entonces el conjunto $CBorr_{uVP_{Iny}}$ lineal queda establecido a partir de la Función de Pertenencia/Membresía dada por:

$$\mu(uVP_{Iny}) = uVP_{Iny} \quad (3)$$

Y al introducir su peso exponencial, $Y^{VP_{Iny}}$ se obtiene el $CBorr_{uVP_{Iny}}$, a partir de su Función de Membresía:

$$\mu(uVP_{Iny}) = (uVP_{Iny})^{Y^{VP_{Iny}}} \quad (4)$$

Conjunto borroso solidario a $|I_h|$

Todos los SEDE BT operan con cierto grado de desbalance en sus cargas, de modo que el Sistema Trifásico de Intensidades será simétrico (fasores desplazados 120°), pero desbalanceado. En tal condición, conforme el Teorema de Componentes Simétricas de Fortescue [3] y [6], se tendrá una cierta $|I_h|$ circulando por el neutro.

Para construir el CBorr $|I_h|$, se considerará un *límite mínimo* de $|I_h|$, $u|I_h|_{Min}$, dado por el valor de la misma en la mejor condición de balance de cargas que pueda presentar el SEDE BT, determinada, por caso, resolviendo un PO MonoObjetivo que minimiza $|I_h|$ [5].

El *límite máximo* vendrá impuesto externamente como:

$$u|I_h|_{Max} = [1 + (\%|I_h|_{Min}/100)] \cdot |I_h|_{Min} \quad (5)$$

De modo que, determinado su peso exponencial Y $|I_h|$, y siendo $u|I_h| = |I_h|$, la Función de Membresía vendrá dada por la expresión condicional:

$$\text{Si } |I_h| < |I_h|_{Min} \rightarrow \mu = 1 \quad (6)$$

$$\text{Si } |I_h|_{Min} \leq |I_h| \leq |I_h|_{Max} \rightarrow$$

$$\mu = \left[\frac{u|I_h|_{Max} - u|I_h|}{u|I_h|_{Max} - u|I_h|_{Min}} \right]^{Y|I_h|} \quad (7)$$

$$\text{Si } |I_h| > |I_h|_{Max} \rightarrow \mu = 0 \quad (8)$$

Conjunto borroso solidario a las $Perd_{PT}$

Para la construcción del CBorr $Perd_{PT}$, se sigue la misma lógica propuesta en la construcción de CBorr $|I_h|$. De forma que se determina un *límite mínimo* y un *límite máximo* (del mismo modo que se determinaron para $|I_h|$): $Perd_{PTMin} \equiv uPerd_{PTMin}$ y

$$uPerd_{PTMax} \equiv Perd_{PTMin} = [1 + (\%Perd_{PTMin}/100)] \cdot Perd_{PTMin} \quad (9)$$

De esta manera, calculado su peso exponencial Y $Perd_{PT}$, y siendo $uPerd_{PT} = Perd_{PT}$, la Función de Membresía vendrá dada por la expresión condicional:

$$\text{Si } Perd_{PT} < Perd_{PTMin} \rightarrow \mu(uPerd_{PT}) = 1 \quad (10)$$

$$\text{Si } Perd_{PTMin} \leq Perd_{PT} \leq Perd_{PTMax} \rightarrow$$

$$\mu(uPerd_{PT}) = \left[\frac{Perd_{PTMax} - Perd_{PT}}{Perd_{PTMax} - Perd_{PTMin}} \right]^{YPerd_{PT}} \quad (11)$$

$$\text{Si } Perd_{PT} > Perd_{PTMax} \rightarrow \mu(uPerd_{PT}) = 0 \quad (12)$$

Conjunto borroso solidario a las $U_{n[R,S,T]}$

En este caso, la construcción del CBorr $U_{n[R,S,T]}$ requiere de la construcción de un Índice que resultara en

la variable $u|U_{n[R,S,T]}|$. Esto es así porque la restricción 2) del Modelo 1) impone que en todo nodo n del SEDE BT considerado, con nN nodos, se satisfagan los límites impuestos regulatoriamente.

De modo que se utilizará una propuesta similar a la presentada por el autor (en coautoría) en las referencias, por caso, [2] y [3], para resolver el PO del Balance de Cargas Monofásicas en una red SEDE BT sin MG FV.

Se trabaja, como es habitual en los sistemas de potencia, en valores por unidad [6], [pu]. El valor 1 [pu] corresponde al módulo tensión nominal en cada fase [R, S, T]. Entonces se definen tantos Conjuntos Borrosos como nodos tenga el SEDE BT bajo estudio, donde

$u|U_{n[R,S,T]}| = |U_{n[R,S,T]}|$, con la Función de Membresía expresada condicionalmente por:

$$\text{Si } |U_{n[R,S,T]}| < U_{LimMin} \rightarrow \mu(u|U_{n[R,S,T]}|) = 0 \quad (13)$$

$$\text{Si } U_{LimMin} \leq |U_{n[R,S,T]}| \leq U_{LimMax} \rightarrow$$

$$\mu(u|U_{n[R,S,T]}) = \left[\frac{U_{LimMax} - |U_{n[R,S,T]}|}{U_{LimMax} - U_{LimMin}} \right]^{Y|U_{n[R,S,T]}} \quad (14)$$

$$\text{Si } |U_{n[R,S,T]}| > U_{LimMax} \rightarrow \mu(u|U_{n[R,S,T]}) = 0 \quad (15)$$

Y para el conjunto de nodos del SEDE BT, con n en [1...nN], se tendrá la Función de Membresía dada por:

$$\mu(u|U_{nN[R,S,T]}) = \sqrt[nN]{\prod_{n=1}^{nN} \mu(u|U_{n[R,S,T]})} \quad (16)$$

El segundo miembro de (16) es un Índice estricto, pues basta con que el módulo de la tensión en un nodo n-ésimo esté fuera de los límites impuestos regu-

riamente para que $\mu(u|U_{nN[R,S,T]})$ sea 0, ya que el radicando es el producto de las Funciones de Membresía para cada nodo n-ésimo.

Conjunto borroso solidario a la $|US_{[R,S,T]}|$

El caso del CBorr $|US_{[R,S,T]}|$ es completamente análogo al de un nodo n del SEDE BT. De manera que su Función de Membresía tendrá la misma característica que (13)-(16), considerando $u(|US_{[R,S,T]}) = |US_{[R,S,T]}|$ y los límites en la Salida del Transformador de Distribución MT/BT, $U_{CTLimMin}$ y $U_{CTLimMax}$ que son fijados por el regulador de tensión:

$$\text{Si } |US_{[R,S,T]}| < U_{CTLimMin} \rightarrow \mu(u|US_{[R,S,T]}) = 0 \quad (17)$$

$$\text{Si } U_{CTLimMin} \leq |US_{[R,S,T]}| \leq U_{CTLimMax} \rightarrow \mu(u|US_{[R,S,T]}) = \left[\frac{|US_{[R,S,T]}| - U_{CTLimMin}}{U_{CTLimMax} - U_{CTLimMin}} \right] \quad (18)$$

$$\text{Si } |US_{[R,S,T]}| > U_{CTLimMax} \rightarrow \mu(u|US_{[R,S,T]}) = 0 \quad (19)$$

Conjunto borroso solidario a las $|I_{r[R,S,T]}|$

En este caso, el CBorr $|I_{r[R,S,T]}|$ requerirá de la construcción de un Índice cuya formulación tiene la misma estructura que (13-16). Esto es así porque se requiere que para cada rama r en [1...nR] del SEDE BT, la

$|I_{r[R,S,T]}| \leq I_{LimMax}$ dada por el conductor empleado. Como no se establece un *límite mínimo*, puede definirse de varias formas. La propuesta aquí es que tal límite esté dado por la expresión:

$$I_{LimMin} = [1 - (\%I_{LimMax} / 100)] \cdot I_{LimMax} \quad (20)$$

Entonces, adoptando $u|I_{r[R,S,T]}| = |I_{r[R,S,T]}|$, las Funciones de Membresía del r-ésimo Conjunto Borroso con r en [1... nR] serán:

$$\text{Si } |I_{r[R,S,T]}| < I_{LimMin} \rightarrow \mu(u|I_{r[R,S,T]}) = 1 \quad (21)$$

$$\text{Si } I_{LimMin} \leq |I_{r[R,S,T]}| \leq I_{LimMax} \rightarrow$$

$$\mu(u|I_{r[R,S,T]}) = \left[\frac{|I_{r[R,S,T]}| - I_{LimMax}}{I_{LimMax} - U_{LimMin}} \right]^{Y|I_{r[R,S,T]}} \quad (22)$$

$$\text{Si } |I_{r[R,S,T]}| > I_{LimMax} \rightarrow \mu(u|I_{r[R,S,T]}) = 0 \quad (23)$$

$$\mu(u|I_{nR[R,S,T]}) = \sqrt[nR]{\prod_{r=1}^{nR} \mu(u|I_{r[R,S,T]})} \quad (24)$$

Operador entre las μ_{0+r} para definir μ_{Dc}

El operador o *t-norma*, [2] a [5], entre las funciones de membresía de los 6 CBorr definidos en 1.2, es una variante aquí propuesta referida como producto de Einstein Exponencial, PE^{YPE}. Se formula como sigue:

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3034>

Llamando, por simplicidad, $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$, y μ_6 a cada función de membresía con peso exponencial en el orden que se presentaron, el PE Clásico es:

$$(\mu_1, \mu_2)_{PE} = [(\mu_1 \mu_2) / (2 - (\mu_1 + \mu_2 - \mu_1 \cdot \mu_2))] \quad (25)$$

$$(\mu_1, \mu_2)_{PE}^{YPE} = [(\mu_1 \cdot \mu_2) / (2 - (\mu_1 + \mu_2 - \mu_1 \cdot \mu_2))]^{YPE} \quad (26)$$

Si se aplicase el PE Clásico (25), el resultado obtenido opera como una nueva μ que se vuelve a someter a (25) con μ_3 , y así continuando hasta someter a (25) la última μ con μ_6 . De este modo, el valor de μ_{Dc} va tendiendo asintóticamente a 0. Por ejemplo, como se observará en los resultados presentados en la sección 5, el valor de μ_{Dc} resultaría en 0.45, y no necesariamente está implicando un bajo valor de aptitud. Se obtiene un valor pequeño, debido a la propia estructura del PE Clásico.

Para salvar esta dificultad, se introduce un peso exponencial constante menor que 1, cuyo valor adecuado es función del número de CBorr, nCBorr: $YPE = 1/nCBorr$. Para este caso $YPE = 1/6 = 0.17$.

Por ello $(0.45)^{0.17}$ arroja el valor final de $\mu_{Dc} = 0.87$, que se observa en la Tabla 1 de la sección 4.

Implementación de las variantes MPI

Las implementaciones en ambas variantes del algoritmo HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI pueden ser consultadas en [11] y [12]. Particularmente, la segunda variante, en la cual se considera un número constante de núcleos e igual al número de Principios IC. La implementación *software* se realizó bajo Linux, utilizando C++ en su programación.

La modificación en el entrenamiento de la RNAR \equiv FS, introducida tanto en este Algoritmo, como en el HY CBR X-FPSO, difiere respecto de la empleada en las referencias [10], [11] y [12]. Utiliza un algoritmo híbrido: emplea el Gradiente Generalizado para las primeras iteraciones, y luego la Forma X-PSO GIST.

Simulaciones

Para realizar las simulaciones a efectos de resolver el PO VOInyP MG FV SEDE BT mediante los tres Algoritmos HiperHeurísticos, se considera la red BT cuyo Esquema Trifilar se presenta en la Fig. 2.

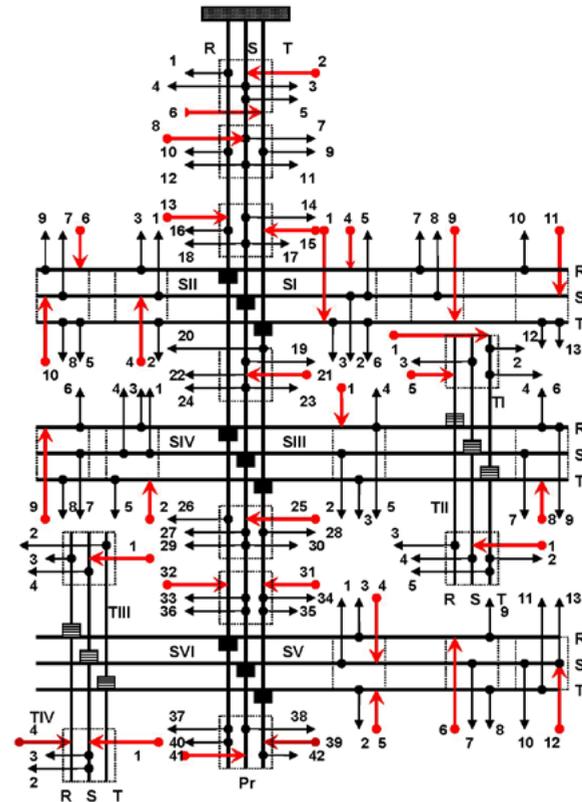


Fig. 2: Red BT adoptada como estudio de caso

Esta red, perteneciente al SEDE BT de la ciudad de Bariloche, Argentina, corresponde a una salida (de las seis) de un Transformador de Distribución MT/BT (13.2 kV / 0.38 kV) cuya Potencia Aparente es 315 kVA. Las flechas en color negro (*salientes* de cada nodo) indican usuarios *consumidores* de energía desde la red. Las flechas en color rojo (*entrantes* en cada nodo) indican usuarios *inyectores* de energía a la red (MG FV). El Sistema tiene, entonces, 115 usuarios *prosumidores*: 84 *consumidores* y 31 *productores/inyectores* (MG FV).

Existen un alimentador principal (Pr), cinco alimentadores secundarios (SI, SII, SIII, SIV y SV) y cuatro terciarios (TI, TII, TIII y TIV). Los números indican los *pro*

sumidores conectados a cada uno de ellos. En la Fig. 3 se presenta esquemáticamente la distribución cargas e inyecciones resultantes, componentes del VOInyP, ordenadas según estos números, para cada alimentador, así como las distancias, en km, respecto del nodo origen de cada uno. Las Cargas tienen un signo positivo, mientras que las Inyecciones son negativas, ambas expresadas en kW. El flujo de potencia para sistemas desbalanceados con MG FV empleado, se detalla en la referencia [7]. Siguiendo la misma, los MG FV pueden ser consideradas consumos negativos, con un Factor de Potencia $fP_{Iny} = 1$, debido al funcionamiento de un Generador FV. Para las Potencias de consumo, $fP_{Con} = 0.85$. Tratándose de una zona residencial, los usuarios consumidores tienen un Factor de Consumo Simultáneo $fConS = 0.6$, mientras que para los usuarios inyectoros, su Factor de Inyección Simultánea es $fInyS = 1$ (todos están inyectando P_{Iny} a la red). Debido a las bajas temperaturas de la ciudad, ubicada en la Patagonia, los consumos eléctricos son bajos, resultando el valor de potencia contratada (e instalada en los paneles solares FV) 2 kW. Se observa que las P_{Iny}^i , componentes del VOInyP, no logran su valor máximo, operando en verano, y en condiciones estándar [13], [14], [15] y [16], conforme el Mapa Solar del mes de enero, correspondiente a la potencia nominal de los Paneles FV. Además, esta no se ve disminuida por efecto de las altas temperaturas [14]. La limitación de las P_{Iny}^i estriba

en las Restricciones asociadas a $|U_{n[R,S,T]}|$ y $|US_{[R,S,T]}|$, pues se superarían los límites máximos. Respecto de la Aplicación de los algoritmos hiperheurísticos, el VOInyP cuyas componentes se observan en la Fig. 3 resultó ser el mismo en los 3 casos, al igual que las μ_i con i en [1...6]. Esto es así porque el sistema analizado es pequeño. La diferencia estriba en los tiempos de computación requeridos por cada algoritmo.

Los resultados, al respecto, se presentan en la Tabla 1.

Los datos de los conductores de esta red pueden consultarse en la referencia [3]. Se utilizaron como valores límites en la construcción de los CBorr, los siguientes: a) $|I_h|$: $|I_h|_{Min} = 1.5$ A y $|I_h|_{Max} = 27.5$ A; b)

$Perd_{PT}$: $Perd_{PTMin} = 1.9$ kW y $Perd_{PTMax} = 12.1$ kW; c)

$|U_{n[R,S,T]}|$: $U_{LimMin} = -5\%$ de 0,220 kV y $U_{LimMax} = +5\%$ de 0,220 kV (Monofásica); d) $|US_{[R,S,T]}|$: $U_{CTLimMin} = -5\%$ de 0,220 kV y $U_{CTLimMax} = +5\%$ de 0,220 kV (Monofásica);

e) $|I_{r[R,S,T]}|$: los $[I_{LimMin}, I_{LimMax}]$ surgen de los conductores [2] (el I_{LimMax} viene de catálogos de conductores aéreos preensamblados. I_{LimMin} se considera un 20% inferior I_{LimMax} , desde (20)).

Pr
[kW] = [1.8, -1.15, 1.15, 1.95, 1.15, -1.15, 1.13, -1.14, 1.15, 1.15, 1.14, 1.15, -1.6, 1.12, -1.13, 1, 1.15, 1.15 1.15, 1.15, -1.15, 1.17, 1.16, 1.15, -1.13, 1.13, 1.12, 1.13, 1.15, 1.15, -1.15, -1.18, 1.16, 1.15, 1.15, 1.17, 1.15, 1.18, -1.36, 1.36, -1.36, 1.36]
[dist] = [0.035, 0.035, 0.035, 0.035, 0.035, 0.035, 0.035, 0.045, 0.045, 0.045, 0.045, 0.045, 0.045, 0.065, 0.065, 0.065, 0.065, 0.065, 0.065, 0.095, 0.095, 0.095, 0.095, 0.095, 0.095, 0.16, 0.16, 0.16, 0.16, 0.16, 0.16, 0.45, 0.45, 0.45, 0.45, 0.45, 0.45, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7]
SI
[kW] = [-1, 1.15, 1, -1.15, 1.15, 1, 1.15, 1.17, -1.15, 1.15, -1.18, 1.13, 1.13]
[dist] = [0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.25, 0.25, 0.25, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3]
SII
[kW] = [1.15, -1.2, 1.13, 1.1, 1.1, -1.13, 1, 1.15, 1.5, -1.2]
[dist] = [0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.3]
SIII
[kW] = [-1, 1.15, 1, 1.16, 1.16, 1.2, 1.2, -1.6, 1.15]
[dist] = [0.25, 0.25, 0.25, 0.25, 0.25, 0.35, 0.35, 0.35, 0.35]
SIV
[kW] = [1.15, -1.6, 1.12, 1.12, 1.15, 1.18, 1.12, 1, -1.5]
[dist] = [0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2]
SV
[kW] = [1, 1.15, 1, 1.2, -1.4, -1.3, -1.6, 1.12, 1.16, 1.15, 1.13, 1.13, -1.3]
[dist] = [0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2]
TI
[kW] = [-1, 1.15, 1, 1.13, -1]
[dist] = [0.15, 0.15, 0.15, 0.15, 0.15]
TII
[kW] = [-1.3, 1.12, 1, 1.12, 1.15]
[dist] = [0.095, 0.095, 0.095, 0.095, 0.095]
TIII
[kW] = [-1, 1.15, 1.13, 1.7]
[d] = [0.135, 0.135, 0.135, 0.135]
TIV
[kW] = [-1.5, 1.15, 1.1.8]
[dist] = [0.125, 0.125, 0.125, 0.125]

Fig. 3: Datos de Cargas, Distancias y VOInyP

Los pesos exponenciales obtenidos para cada función de membresía μ_1 , μ_2 , μ_3 , μ_4 , μ_5 , y μ_6 , según el Método auto-valor/auto-vector mencionado en 1.2.1, resultaron correspondientemente: $\Upsilon\mu_1 = 1.51$, $\Upsilon\mu_2 =$

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3034>

1.54, $Y_{\mu 3} = 0.30$, $Y_{\mu 4} = 1.20$, $Y_{\mu 5} = 1.10$, $Y_{\mu 5} = 0.35$. Se observa que se le confiere la *mayor* importancia a $|I_h|$, seguido del VPI_{ny} , y la *menor* importancia a las $Perd_{PT}$, seguidas de $|I_{r_{[R,S,T]}}|$, como es razonable para la Topología de la Red y el número de MG FV.

Tabla 1. Resultados de las funciones de membresía para cada O+R y CBORR D, al aplicar el operador producto de Einstein exponencial, y tiempos de computación empleados por cada algoritmo hiperheurístico

	$\mu 1$	$\mu 2$	$\mu 3$	$\mu 4$	$\mu 5$	$\mu 6$	μD	TC
HY CBR X-FPSO	0.95	0.9	0.95	0.92	0.85	0.82	0.87	20 min
HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI V1	0.95	0.9	0.95	0.92	0.85	0.82	0.87	8 min
HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI V2	0.95	0.9	0.95	0.92	0.85	0.82	0.87	3 min

2. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han presentado los detalles de implementación de tres algoritmos hiperheurísticos, descritos para resolver el Problema de Optimización de la inyección de potencia proveniente de microgeneradores distribuidos en sistemas eléctricos de distribución de energía de baja tensión, focalizándose en los paneles solares fotovoltaicos. Estos algoritmos han sido designados como HY CBR X-FPSO, HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI V1 y HY CBR (X-FPSO + FAFS) MPI V2. Los desarrollos presentados y su aplicación continúan una línea de investigación abordada por autor (en coautoría), de más de una década, intentando generar un novedoso campo para la contribución por parte de terceros, puesto que sin duda y en muchos aspectos observados a lo largo del manuscrito, se advierten líneas de investigación futura.

Como conclusiones específicas y más relevantes del trabajo, se destacan las siguientes:

- 1) Si bien estos modelos hiperheurísticos están orientados para resolver Problemas de Optimización multiobjetivo pertenecientes a la Clase CP ECRRED, explotando los aspectos que tales problemas tienen en común, relativos a la caracterización de sus Espacios de Soluciones, pueden ser extendidos a otras Clases.
- 2) Respecto del PO resuelto, referido como $VOInyP$ MG FV SEDE BT, tiene una gran importancia en la actualidad, habida cuenta de la penetración de las fuentes primarias de energía renovable para generación eléctrica, como tecnología de mitigación del efecto invernadero, diversificando la Matriz Energética correspondiente al abastecimiento eléctrico. Particularmente en el paradigma de generación (Microgeneración) distribuida basada en energía solar FV.
- 3) La determinación del $VOInyP$ MG FV SEDE BT supone un problema de despacho técnico económico de los MG FV, representado por el modelo general dado en (1). Su complejidad y el requerimiento de que sea resuelto en tiempo cuasi-real, hacen que los métodos de optimización no lineal clásicos colapsen.
- 4) Se observa, más allá de la particularidad de haber obtenido los mismos resultados en los tres Algoritmos hiperheurísticos (por ser pequeña la red), estos dependen de las importancias que consigne el tomador de decisiones a cada objetivo-restricción en (1). Si las importancias, $Y^{\mu O+R}$, cambian, los resultados serán diferentes. Además, siempre existirá un valor μE , fijado externamente por el tomador de decisiones, tal que si $\mu D < \mu E$, la solución más satisfactoria *no es aceptable*. En tal situación se requerirán cambios en la red y/o redefiniciones en algunos CBorr.

5) Por último, y como era de esperarse, la implementación del algoritmo bajo computación paralela, MPI, es la que requiere menor Tiempo de Computación. Particularmente la MPI V2 es más apta para simulación en tiempo cuasi-real.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, donde desempeña sus labores como investigador científico, por el financiamiento recibido para abordar y dirigir dos proyectos finalizados, que permitieron obtener los desarrollos y resultados previos referidos en las publicaciones, así como los presentados en este trabajo. Ambos proyectos, acreditados por el Sistema de Información de Ciencia y Tecnología (SICyT) de Argentina, llevan por título: "Economía de Regulación en Redes Eléctricas: Aportes Metodológicos para la definición y evaluación de Sistemas de Distribución Económicamente Adaptados" (2010-2013) y "Modelo Soft-Computing aplicado a la Economía de Regulación de Redes con Generación Distribuida Basada en Energías Renovables" (2017-2018).

REFERENCIAS

- [1] G. Schweickardt, "Optimización de la inyección de potencia desde microgeneración distribuida en sistemas eléctricos de distribución de baja tensión. Desarrollos teóricos de un modelo hiperheurístico". *Lámpsakos*, no. 20, pp. 55-67, julio 2018. DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3015>
- [2] G. Schweickardt. "Metaheurísticas multiobjetivo Cardumen de Peces Artificiales (FAFS) y Optimización Evolucionaria por Enjambre de Partículas con Topología Estocástica Global Individual (FEPSO GIST). Parte II: Aplicación". *Lámpsakos*, no. 13, pp. 13-23, enero 2015. DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.1371>
- [3] G. Schweickardt, y V. Miranda, "Metaheurística FEPSO Aplicada a Problemas de Optimización Combinatoria: Balance de Fases en Sistemas de Distribución Eléctrica". *Revista Ciencia Docencia y Tecnología*, no. 40, pp. 133-163, mayo 2010.
- [4] G. Schweickardt, J. M. Giménez Álvarez, & C. Casanova, "Metaheuristics approaches to solve combinatorial optimization problems in distribution power systems. An application to Phase Balancing in low voltage three-phase networks". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 76, pp. 1-10, febrero 2016.
- [5] G. A. Schweickardt, V. Miranda, & G. Wiman, "A Comparison of Metaheuristics Algorithms for Combinatorial Optimization Problems. Application to Phase Balancing in Electric Distribution Systems". *Latin American Applied Research*, vol. 41, pp. 113-120, April 2011.
- [6] J. Arrillaga, C. Arnold, and B. Harker, "Computer Modelling of Electrical Power Systems". John Wiley & Sons, 1991.
- [7] L. A. Gallego, J. M. López Lezama, y D. A. Mejía Giraldo, "Flujo de Potencia Trifásico con Generación Distribuida". *Scientia et Technica*, Año XV, no. 43, pp. 43-47, diciembre 2009.
- [8] R. Yager, "Multiple objective decision making using fuzzy sets". *Intl. J. Man-Machine Studies*, vol.9, no. 4, pp. 53-64, July 1977. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(77\)80008-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(77)80008-4)
- [9] G. Schweickardt, and V. Miranda, "A Two-Stage Planning and Control Model Toward Economically Adapted Power Distribution Systems using Analytical Hierarchy Processes and Fuzzy Optimization", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 31, no. 6, pp. 277-284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2009.03.003>

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3034>

- [10] G. Schweickardt, C. Casanova, y J. M. Giménez, "Hiperheurística Basada en Razonamiento con Dominio en Metaheurísticas X-FPSO Multiobjetivo. Aplicación sobre una Optimización Dinámica Posibilística. Parte 1". *Revista EPIO Investigación Operativa*, no. 34, pp. 8-29, noviembre 2013.
- [11] G. Schweickardt, C. Casanova, y J. M. Giménez, "Hiperheurística Basada en Razonamiento con Dominio en Metaheurísticas X-FPSO Multiobjetivo. Aplicación sobre una Optimización Dinámica Posibilística. Parte 2". *Revista EPIO Investigación Operativa*, no. 35, pp. 128-148, mayo 2014.
- [12] G. Schweickardt, y C. Casanova, "Modelos hiperheurísticos basados en razonamiento con procesamiento paralelo y dominio en metaheurísticas X-PSO y AFS multiobjetivo". *Revista EPIO Investigación Operativa*, no. 37, pp. 7-26, mayo 2015.
- [13] S. Dubey, J. N. Sarvaiya, and B. Seshadri, "Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review". *Energy Procedia*, vol. 33, pp. 311-321, 2013.
- [14] A. Molki, "Temperature effect on photovoltaic cells". *Physics Education*, vol. 46, no. 5, pp. 517-523, 2011.
- [15] A. R. Amelia, Y. M. Irwan, W. Z. Leow, M Irwanto, I. Safwati, & M. Zhafarina. "Investigation of the Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance". *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, vol.6. no. 5, pp. 682-688. 2016.
- [16] H. Grossi Gallegos, "Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación". *Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 5, pp. 33-42. 1998.

Máquinas de soporte vectorial y árboles de clasificación para la detección de operaciones sospechosas de lavado de activos

Vector support machines and classification trees for detecting suspicious operations of money laundering

Marlon Efraín Gracia Granados*

(Recibido el 02-08-2018. Aprobado el 30-11-2018)

Estilo de citación de artículo:

M. E. Gracia Granados, "Máquinas de soporte vectorial y árboles de clasificación para la detección de operaciones sospechosas de lavado de activos", *Lámpsakos*, (21), pp. 26-38. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>

Resumen.

El lavado de activos es un delito que trae consigo un gran número de consecuencias negativas a la sociedad en general. Para mitigar este problema en las entidades financieras, que es donde principalmente se presenta, se han desarrollado sistemas anti lavado de dinero. Lo anterior origina un nuevo problema: los falsos positivos que se obtienen a partir de dichos sistemas, los cuales representan para las entidades financieras pérdidas de dinero, tiempo y foco, al no tratar las verdaderas operaciones inusuales. Se evalúan los principales métodos de detección de operaciones inusuales de lavado de activos que se encuentran en la literatura, para determinar cuáles técnicas ofrecen los mejores resultados y a partir de estas generar un nuevo modelo que mejore los indicadores registrados. A partir de un proceso de revisión y replicación de metodologías de detección de anomalías encontradas en la literatura, se pudo generar un nuevo modelo que presenta mejores métricas a la hora de clasificar operaciones como normales e inusuales, lo cual puede representar para las entidades financieras una manera de disminuir las tasas de falsos positivos en sus sistemas anti lavado.

Palabras clave: Árboles de clasificación; Soporte vectorial; Métricas; Precisión; Entidades financieras; Falsos positivos; Lavado de activos; Operaciones inusuales; Operaciones sospechosas; Detección.

* Especialista en Estadística, Universidad Nacional sede Medellín, Medellín-Colombia, Correo electrónico: marlon.gracia@udea.edu.co

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>

Abstract

Money laundering is a crime that brings a large number of negative consequences to society in general. Anti-money laundering systems have been developed to mitigate this problem in financial institutions, which is where it is mainly presented. This causes a new problem: the false positives obtained from these systems, which represent financial losses for the financial entities, as well as time and focus, since they do not deal with the real unusual operations. The main detection methods of unusual operations of money laundering found in the literature are evaluated to determine which techniques offer the best results and from these generate a new model that improves the registered indicators. From a process of review and replication of anomalies detection methodologies found in the literature, a new model that presents better metrics when classifying operations as normal and unusual could be generated, this may represent way to reduce the false positive rates in their anti-money laundering systems in financial institutions.

Keywords: Classification trees, Vector Support, Metrics; Precision; Financial entities; False positives; Money laundering; Unusual operations; Suspicious operations; Detection.

1. INTRODUCCIÓN

El lavado de activos es un delito cuyo objetivo es dar apariencia de legalidad a dineros mal habidos, que son producto de delitos como el narcotráfico, venta de armas, prostitución, extorsión, entre otros [1]. En Colombia, el lavado de activos se encuentra tipificado en el artículo 323 del Código Penal [2], en el que se declaran todas las actividades por las cuales se puede incurrir en esta conducta criminal.

Este delito mueve, según ciertos estudios, entre el 2% y 5% del producto interno bruto mundial [3], [4], [5] y trae consigo efectos negativos sobre la sociedad en general, ya que puede distorsionar los precios de los bienes, alterar los diversos indicadores de un país y adicionalmente, puede ser un multiplicador de actividades ilegales al ayudar a las organizaciones criminales a autofinanciarse y a diversificar sus actividades delictivas [6], [7], [8], [9].

Las entidades financieras son regularmente el punto de entrada de este delito, debido a que los criminales hacen uso de estas para ingresar los dineros mal habidos, y a través de un conjunto de operaciones intentan perder el rastro del origen del dinero, para finalmente usarlo en el sector real sin temor a que se averigüe la procedencia no lícita; lo que constituye los pasos usuales del lavado de activos: colocación, transformación e integración [6].

Debido a lo anterior, en las entidades financieras se implementan sistemas ALD (anti lavado de dinero), con el fin de detectar y prevenir operaciones de lavado de activos realizadas en la entidad. El problema que surge es que estos sistemas suelen presentar un gran número de falsos positivos (operaciones normales que son reportadas por el sistema como sospechosas de lavado de activos) y falsos negativos (operaciones inusuales no detectadas por el sistema), porque por un lado hay operaciones que sí bien son inusuales, no son sospechosas, ejemplo de ello las ganancias ocasionales, y por otro, la astucia de los criminales para camuflar los dineros ilícitos [10].

La producción de falsos positivos y falsos negativos en los sistemas ALD se considera un problema por sus proporciones y por sus implicaciones; para dar una idea de qué tanto se produce este problema, se toma como referencia la encuesta realizada por Dow Jones Risks & Compliance y ACAMS a varios encargados de sistemas ALD en el mundo, en la cual se encontró que más del 44% de los encuestados respondieron que poseen tasas de falsos positivos mayores al 50%, y existen muchos casos en los cuales estos sistemas producen tasas de falsos positivos del 100% [11]. Las implicaciones de esta problemática es la pérdida de tiempo, esfuerzo y dinero en la investigación de operaciones, que al final fueron falsos positivos del sistema, así como la materialización de los efectos negativos del lavado de activos sobre las operaciones que no fueron detectadas por el sistema, es decir, los falsos negativos.

Para mitigar la alta producción de falsos positivos y negativos, varias técnicas de detección de anomalías han sido propuestas en la literatura [12], [13], [14], sin embargo, estas propuestas poseen diferentes métricas, conjuntos de datos y variables, por lo cual los resultados no son fácilmente comparables, y de esta manera es difícil determinar cuál posee mejores resultados.

Por tanto, el objetivo que se plantea en este artículo de investigación es implementar varias de las técnicas más citadas en el ámbito de la detección de operaciones sospechosas de lavado de activos y que posean la información suficiente para ser replicadas, con un conjunto de datos reales suministrado por una entidad financiera, obteniendo métricas que ayuden a determinar cuál de las técnicas tiene un mejor desempeño y usarla como base para generar un nuevo modelo de detección, con mejores características. Todo esto, buscando contribuir a la reducción de falsos positivos y negativos que se producen al detectar operaciones sospechosas de lavado de activos en el sistema financiero, con miras a reducir los efectos negativos que traen consigo.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>

El presente artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: 1. Se presenta la metodología a utilizar, 2. Se detallan los resultados de las técnicas seleccionadas en la literatura, 3. Se desarrolla la nueva técnica de detección de operaciones sospechosas y se presentan sus resultados, 4. Finalmente se exponen las conclusiones.

2. METODOLOGÍA

La metodología a utilizar tiene como punto de partida el problema planteado, que, en este caso, es la alta producción de falsos positivos por parte de diversos sistemas ALD y el efecto negativo que esta tiene en el sistema financiero y en la sociedad en general.

Para ello, se realizó un estudio del estado del arte de diferentes modelos de detección de lavado de activos, en el que se observó que dichos modelos realizan la clasificación de operaciones entre sospechosas y normales, teniendo en cuenta solo variables de tipo transaccional: montos, tipos y números de operaciones. Con esto en mente, la pregunta de investigación que se desea resolver es: ¿Incluir variables sociodemográficas de quienes realizan las operaciones que deben ser clasificadas entre sospechosas y normales, ayuda a disminuir el porcentaje de falsos positivos?

La metodología que se seguirá para resolver la pregunta de la investigación es la siguiente:

En una primera parte, se preparan los diferentes insumos para realizar la implementación y comparación de los diferentes modelos de detección; uno de ellos es la selección de las métricas que se utilizarán para determinar las bondades de cada método y compararlos, selección de las variables a utilizar, obtención de los datos y separación de estos en las poblaciones de entrenamiento y validación. Es muy importante que en los datos obtenidos se encuentre una marcación que indique operaciones sospechosas reales de lavado de activos, con lo cual se puede tener una mayor certeza de los resultados.

La segunda parte de la investigación consistirá en replicar los diferentes métodos seleccionados de la literatura y aplicárselos al conjunto de validación a utilizar, el cual es el mismo para todos, incluido el que se implementará; sobre los resultados al aplicar los métodos al conjunto de validación, se obtendrán las métricas seleccionadas y se hará un análisis de bondades y desventajas.

La última parte consistirá en crear un nuevo método de detección de anomalías, que se aproveche de la información sociodemográfica que fue agregada, y el cual busca superar las bondades de los métodos replicados de la literatura.

Métricas a utilizar

Sobre las métricas a utilizar para determinar las cualidades de detección de cada uno de los modelos a analizar, son muchas las propuestas que existen en la literatura [15], [16], [17]. Las que serán utilizadas en este artículo son unas métricas básicas, pero efectivas, que se obtienen de una tabla de contingencia como la que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla de contingencia para clasificar las operaciones obtenidas

Clasificación planteada	Verdadera clasificación	
	Normal	Inusual
Normal	Verdadero negativo	Falso negativo
Inusual	Falso positivo	Verdadero positivo

Teniendo en cuenta la siguiente convención:

VP: Verdaderos positivos
VN: Verdaderos negativos
FP: Falsos positivos
FN: Falsos negativos

Se obtienen las siguientes métricas:

Error: métrica que mide el porcentaje de malas clasificaciones, se calcula según se indica en la Fórmula 1.

$$\text{Error} = 1 - \frac{VP+VN}{VP+VN+FP+FN} \quad (1)$$

Tasa de detección: métrica que mide el porcentaje de operaciones inusuales identificadas correctamente, se calcula según se indica en la Fórmula 2.

$$\text{Tasa de detección: } \frac{VP}{VP+FN} \quad (2)$$

Tasa de falsos positivos: métrica que mide el porcentaje de operaciones erróneamente clasificadas como inusuales, se calcula según se indica en la Fórmula 3.

$$\text{Tasa de falsos positivos: } \frac{FP}{FP+VN} \quad (3)$$

Precisión: métrica que mide el porcentaje de aciertos en las transacciones reportadas como inusuales, se calcula según se indica en la Fórmula 4.

$$\text{Precisión} = \frac{VP}{VP+FP} \quad (4)$$

Cada una de las métricas anteriores ayudan a caracterizar el modelo de clasificación; la pretensión es evaluar cada una de las anteriores métricas con respecto a cada modelo y, a partir de estas, determinar el modelo con las mejores características.

Variables a obtener

Para obtener el listado de variables a solicitar a la entidad financiera, lo primero que se requiere es determinar cuáles modelos de identificación de operaciones sospechosas de lavado de activos se intentará replicar.

Luego del análisis de la literatura, los modelos escogidos fueron: Redes bayesianas dinámicas [18], Redes neuronales de base radial [19], Máquinas de soporte vectorial [20], Clúster de dos fases [21], Maximización de la esperanza [22] y Sequence Matching [23].

Las variables utilizadas por estos modelos son: montos de entrada y salida a las cuentas de los clientes, frecuencia de entrada y salida a las cuentas de los clientes, tiempos entre transacciones, tipos de transacciones (efectivo, electrónica), periodo de la operación (inicio del mes, mitad del mes, final del mes) y una marcación que determina si la persona es o no sospechosa de lavado de activos en la entidad financiera.

Las variables sociodemográficas escogidas que se cree pueden aportar a caracterizar mejor a quien realiza las operaciones y clasificarlas son: edad, ingresos declarados, egresos declarados, patrimonio, ventas, segmento de cliente (clasificación que le da la entidad al cliente), tipo de persona (natural, jurídica), ocupación, actividad económica, montos enviados y recibidos internacionalmente, montos desembolsados en créditos.

Obtención de datos

Las variables enunciadas en la etapa anterior fueron solicitadas a una entidad financiera local, de la cual se obtuvo la información completamente anónima y correspondiente a un año.

Dado que algunos de los modelos elegidos requieren información consolidada, lo obtenido fue separado en dos bases independientes, una que contiene el detalle, registro a registro y otra que se encuentra consolidada a nivel de persona.

El número de registros de las dos bases son diferentes, dada la anterior condición. La base de datos consolidada, como va a nivel de persona, indicando la actividad de cada una en todo un año, es apenas de 7 millones de registros; mientras que la base detallada posee 156 millones de registros, esto es algo a tener en cuenta en la división de la población que será llevada a cabo en la siguiente etapa.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>

Población de entrenamiento y de validación

Las dos bases obtenidas en el anterior paso requieren ser subdivididas en dos conjuntos independientes, uno de entrenamiento a partir del cual se entrenarán todos los modelos, aunque algunos de ellos requieran todos los datos o solo un subconjunto, y otro como población de validación, con el cual todos los modelos serán ejecutados y, a partir de allí, se tomarán las métricas con las que se determinará el modelo con las mejores características.

Con la división del universo de registros en estas dos bases, la de entrenamiento y validación, hay tres temas a tener en cuenta; el primero es definir cuál será el porcentaje de datos destinado a cada fin. Para esto existen recomendaciones de cómo realizar la subdivisión [24], aunque esto exige cuidado cuando el conjunto de datos es muy limitado; en el caso de esta investigación se poseen dos bases con un gran número de registros, así existe mayor flexibilidad a la hora de escoger los porcentajes; y debido a que es importante tener un buen número de registros para validar los modelos replicados, se elige particionar los conjuntos de datos en 40% para la población de entrenamiento y 60% para la población de validación.

El segundo tema a tener en cuenta es que la población que se está tratando no está balanceada, es decir, existen muchos más registros normales que inusuales. Esto implica que, al realizar la subdivisión en población de entrenamiento y validación, se debe cuidar que también la distribución de operaciones normales e inusuales se mantenga en los dos subconjuntos, de lo contrario podría tener impacto en los resultados [25]; por tanto, si en el universo de datos un 98% es normal y un 2% es inusual, esta proporción se debe intentar mantener en las poblaciones de entrenamiento y validación.

Finalmente, el último asunto a considerar es que si bien la población está desbalanceada, algunos estudios sugieren que, a nivel del entrenamiento del modelo, los dos conjuntos de datos a clasificar posean un número similar de datos [26], [27]; esto aplica para los modelos que requieren tomar muestras de la población de entrenamiento.

La manera para realizar este balanceo de datos, para las muestras de entrenamiento, será el balanceo por debajo [28], que consiste en tomar la totalidad de inusualidades de la población de entrenamiento, y ponerlo en la muestra balanceada; seguido se elige aleatoriamente un número igual de registros no inusuales, de tal manera que la muestra final para ser utilizada en el entrenamiento de los modelos que requieran muestras más pequeñas, posean un número igual de operaciones normales e inusuales.

3. IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE DETECCIÓN

Con los pasos previos realizados, ya se cuenta con bases detalladas y consolidadas, tanto de entrenamiento como de validación, además tienen todas las variables requeridas por los modelos estudiados, adicional a ello se obtuvieron las métricas a calcular con las cuales se determinarán los pro y contras de los modelos de detección, solo resta implementarlos con la información obtenida y discutir los resultados que estos ofrecen.

En las siguientes secciones se resumen las técnicas utilizadas, los modelos matemáticos en los que se sustentan y los resultados obtenidos al replicar dichas técnicas, partiendo de los datos de validación que se poseen; sin embargo, no se dará el detalle de las mismas, ya que se relacionan los artículos originales expuestos por sus autores, por sí se desea mayor profundización.

Redes bayesianas dinámicas

La primera técnica es la implementada por Raza y Haider, que consiste en la utilización de una red bayesiana dinámica para la obtención de datos anómalos en el ámbito del lavado de activos [18].

La implementación de esta técnica está separada en tres etapas; la primera, de segmentación, en la que cada uno de los individuos es asignado a un grupo con

el que comparte características comunes, con el que se realizan fácilmente comparaciones. La segunda etapa corresponde a la identificación de la Red Bayesiana Dinámica de cada uno de los grupos en los que se segmentó la población. La tercera y última etapa es la de identificación de anomalías, que se hace con base en la Red Bayesiana identificada en la etapa anterior y con una métrica especial creada por los autores de esta técnica de detección, denominada AIRE (índice de anomalía utilizando rango y entropía).

Los resultados de esta técnica, luego de ser replicados con los datos y variables que se poseen, son los presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados implementación Red bayesiana dinámica

Modelo	Red Bayesiana Dinámica
Número de muestras	2.957.028
Error	0,89%
Verdaderos positivos	197
Verdaderos negativos	2.930.627
Falsos Positivos	19.034
Falsos negativos	7.170
Tasa de detección	2,67%
Tasa de falsos positivos	0,65%
Precisión	1,02%

Se puede concluir de las mediciones anteriores, lo siguiente:

- Los puntos positivos de la técnica radican en las bajas tasas de error y de falsos positivos, pero los puntos negativos están en la poca precisión y la muy baja tasa de detección, lo que vuelve la técnica poco aplicable como modelo principal de detección.
- Por otra parte, este modelo aún se podría considerar un modelo de filtrado, con el que se eliminarían muchos registros de la muestra que no son anómalos, y que pueden ser utilizados por modelos más precisos para obtener mejores resultados.

Redes neuronales de base radial

Este modelo de detección fue generado utilizando la técnica de redes neuronales de base radial, para obtener las transacciones anómalas dentro de un conjunto de datos [19].

El modelo se divide en tres partes, la primera es la obtención de las variables de entrada, que antes de ser analizadas por el modelo, son normalizadas de manera que sus valores estén en el rango 0 a 1. El segundo paso corresponde a la conformación de las n capas ocultas, que posee la red neuronal, a partir de los datos de entrada y utilizando un algoritmo de APCIII Clúster que resulta en un número n de grupos que se deberían conformar; y de estos grupos se obtiene el ancho gaussiano de los mismos, indispensable para ejecutar el modelo. Finalmente, el último paso consiste en encontrar los pesos con los cuales se puedan mapear las capas ocultas a las de salida, siendo dos (probabilidad de ser usual y probabilidad de ser inusual), para esto se utiliza un algoritmo de RLS con el que se completan los datos solicitados por el modelo.

Dado lo anterior, se ejecuta el modelo con la población de entrenamiento y posteriormente se envía la población de validación para obtener los resultados de clasificación y realizar las mediciones planteadas; los resultados están presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados modelo de Red neuronal de base radial

Modelo	Red neuronal de base radial
Número de muestras	4.514.994
Error	52,47%
Verdaderos positivos	18.117
Verdaderos negativos	3
Falsos positivos	2.127.981
Falsos negativos	5.779
Tasa de detección	75,82%
Tasa de falsos positivos	52,62%
Precisión	0,76%

Fuente: elaboración propia.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>

La conclusión sobre este modelo fue:

- Se puede observar que este modelo posee una buena tasa de detección, no obstante, la tasa de error es demasiado alta, al igual que la tasa de falsos positivos; mientras que la precisión se mantiene muy baja, por lo cual es un modelo de poca aplicabilidad en un ambiente real.

Máquinas de soporte vectorial

Este modelo utiliza la técnica de máquinas de soporte vectorial, para realizar hiperplanos que dividan la población entre usual e inusual, a partir de la población de entrenamiento, con el cual se logra clasificar la población de validación [20].

La técnica consiste básicamente en dos pasos; en el primero se determinan las variables a ingresar y se les realiza un pequeño proceso de transformación, que busca estandarizar el rango de cada una de estas; el segundo consiste en ingresar los datos que recibe la técnica, que son el factor de control y el castigo por mala clasificación; teniendo esto presente basta con entrenar el modelo con individuos de la población de entrenamiento y posteriormente realizar la clasificación de la población de validación. Una vez realizado esto, se obtienen las métricas que se consignan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados máquinas de soporte vectorial

Modelo	Máquina de soporte vectorial
Número de muestras	4.514.994
Error	2,61%
Verdaderos positivos	13.860
Verdaderos negativos	4.383.436
Falsos positivos	107.662
Falsos negativos	10.036
Tasa de detección	58,00%
Tasa de falsos positivos	2,40%
Precisión	11,41%

Las conclusiones sobre este modelo son las siguientes:

- Este es el modelo más interesante hasta el momento, ya que posee una tasa de error baja, una tasa de detección significativa, además una tasa de falsos positivos baja y su precisión es alta comparada con las métricas anteriores.
- El problema que podría surgir de esta técnica es el alto volumen de datos clasificados como inusuales, en total 121.522 datos, que representa un gran número de inusualidades para ser atendidas por un equipo de Compliance.

Clúster de dos fases

El Clúster de dos fases se basa en la modificación de una técnica de clasificación en conjunto con un modelo de escogencia de grupos anómalos [21].

Como su nombre lo dice, esta posee dos fases; en la primera fase propone que sobre el grupo de datos se realice una técnica de clasificación por medio de un algoritmo de K medias, pero este algoritmo ha sido modificado de tal manera que no le importe que el número de individuos de los grupos que entregue quede desbalanceado.

La segunda fase toma los grupos arrojados en la primera fase y calcula sobre el promedio de distancia de estos, un árbol de expansión mínimo sobre el cual se elimina la arista más grande para obtener así dos poblaciones separadas y, mediante un conteo de elementos en estas poblaciones, se determina el conjunto inusual.

Al comparar la clasificación realizada con la población de validación, se obtienen las muestras que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados Clúster de dos fases

Modelo	Clúster de dos fases
Número de muestras	4.514.994
Error	0,530%
Verdaderos positivos	7
Verdaderos negativos	4.491.045
Falsos positivos	53
Falsos negativos	23.889
Tasa de detección	0,029%
Tasa de falsos positivos	0,001%
Precisión	11,67%

Las conclusiones sobre este modelo son las siguientes:

- Se observa en las métricas obtenidas que el error y la tasa de falsos positivos es muy bajo, lo cual es positivo, pero la tasa de detección también lo es. Por otra parte, la precisión comparada con las anteriores es alta.
- Este modelo, aunque tenga una tasa de detección tan baja, aún puede ser aplicable en el mundo real, gracias a que los resultados arrojados por esta técnica son pocos y aunque esto suceda entrega datos inusuales, asimismo, el esfuerzo que llevaría estudiar todos los casos arrojados no es tan elevado y se está obteniendo buena recompensa al reportar varias operaciones que en efecto son inusuales.

Maximización de la esperanza

Este modelo busca por medio del algoritmo de maximización de la esperanza, encontrar de manera iterativa el conjunto de datos que maximiza la probabilidad de ser inusuales [22].

Esta técnica es no supervisada, por lo que no requiere conocer si los individuos son inusuales o no en la etapa de entrenamiento, pues en un número de iteraciones realiza la agrupación de los individuos en varios grupos, en los cuales mide ciertas métricas para determinar la correctitud de estas clasificaciones, cuando llega al final del número de iteraciones parametrizadas o no supera la tolerancia indicada, arroja cuál de los grupos formados es el inusual.

Al llegar a los resultados de transacciones anómalas, se obtienen las métricas definidas, las cuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados Maximización de la esperanza

Modelo	Maximización de la esperanza
Número de muestras	4.514.994
Error	0,530%
Verdaderos positivos	10
Verdaderos negativos	4.491.015
Falsos positivos	83
Falsos negativos	23.886
Tasa de detección	0,04%
Tasa de falsos positivos	0,002%
Precisión	10,75%

Las conclusiones sobre este modelo son las siguientes:

- Este modelo también presenta una tasa de error baja, tasa de falsos positivos baja, pero una de detección baja. La precisión es razonable vistos los modelos anteriores.
- Al igual que el modelo de Clúster de dos fases, los resultados son muy pocos, pero dentro de estos hay operaciones sospechosas, lo cual le da aplicabilidad en el mundo real evaluando el esfuerzo/ganancia.

Sequence Matching

Sequence Matching tiene un enfoque diferente y en vez de observar una transacción, observa una secuencia de esta comparándola simultáneamente con secuencias de referencia para determinar si son inusuales o no [23].

Esta técnica se realiza en cuatro partes; una en la que para cada variable se obtienen umbrales, para determinar a partir de qué punto se puede considerar el valor como "muy grande"; en la segunda se seleccionan las transacciones en las que por lo menos una variable de una operación supere el umbral definido anteriormente; en la tercera se seleccionan transac-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>

ciones de referencia; y en la cuarta se comparan las transacciones elegidas en la segunda con las elegidas en la tercera y las que definitivamente tengan un comportamiento diferente a dichas operaciones de referencia son clasificadas como inusuales.

Al implementar esta técnica con la población de validación se obtienen las métricas que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados Sequence Matching

Modelo	Sequence Matching
Número de muestras	3.437.420
Error	1,6%
Verdaderos positivos	383
Verdaderos negativos	3.381.921
Falsos positivos	47.257
Falsos negativos	7.859
Tasa de detección	4,64%
Tasa de falsos positivos	1,38%
Precisión	0,8%

Las conclusiones sobre este modelo son las siguientes:

- De esta técnica hay poco que rescatar, si bien la tasa de errores y de falsos positivos es relativamente baja, la tasa de detección y la precisión también lo es, lo cual le resta mucha aplicabilidad en el sector real.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO MODELO

A partir del conocimiento adquirido al implementar los anteriores modelos, obtener las métricas de cada uno y poder observar sus fortalezas y debilidades, se formula un nuevo modelo con el cual se espera conseguir mejores indicadores.

De las técnicas revisadas, la que presenta métricas más robustas en cuanto a que maneja errores bajos, con una tasa de falsos positivos también baja, pero una tasa de detección y una precisión decente, es la técnica de máquina de soporte vectorial; entre sus

virtudes se encuentra la capacidad de filtrar un gran número de operaciones no inusuales manteniendo un grupo de inusualidades considerable, no obstante la desventaja radica que en un ambiente real esa cantidad de registros puede llegar a ser difícil de atender en profundidad.

Por otro lado, se tiene una técnica sencilla de implementar, pues sus resultados siguen siendo decentes y, sobre todo, es aplicable en el sector real debido a que con muy poco esfuerzo se pueden obtener operaciones inusuales en un gran conjunto de datos; esa técnica es la de clúster de dos fases. Otro aspecto importante de esta es que toma varias técnicas y las aplica consecutivamente a un conjunto de datos para ir refinando los resultados encontrados.

En ese orden de ideas, tomando esos dos aprendizajes obtenidos luego de la replicación de los diferentes modelos de detección estudiados, el que la máquina de soporte vectorial sirve como buena técnica para filtrar datos no inusuales y que se pueden encadenar métodos diferentes a un grupo de datos para obtener mejores resultados, se forma el nuevo modelo de detección que se plantea en este artículo.

El modelo que se plantea en la presente investigación posee cuatro fases; en la primera de ellas se determina qué variables serán utilizadas en el modelo, para ello se utilizará la población de entrenamiento y se realizará un proceso de selección de variables Backward, Forward y Stepwise sobre el total de variables contra la variable respuesta, si la persona tuvo operaciones inusuales o no. Luego de ello, se tomarán todas las variables que por lo menos hayan sido seleccionadas por uno de los métodos anteriores.

En la segunda fase se aplicará la técnica de máquina de soporte vectorial sobre las variables seleccionadas en el anterior paso; esto en la población de entrenamiento. El objetivo de la técnica en este punto será filtrar operaciones no inusuales tratando de disminuir la población y manteniendo un número considerable de operaciones inusuales.

En la tercera fase, sobre las operaciones que superaron el anterior filtro se construirá un árbol de clasificación, con el objetivo de obtener un conjunto de datos no tan amplio como la población de entrenamiento inicial y que tenga las características de transacciones capaces de superar el filtro de las máquinas de soporte vectorial; pero como siguen siendo operaciones de entrenamiento, mantienen la marcación de si la operación es inusual o no, a partir de lo cual se crea el entrenamiento del árbol de clasificación.

La última fase consiste en aplicar en la población de validación las fases dos y tres, con lo cual sus datos serán filtrados gracias a la técnica de máquina de soporte vectorial entrenada en la fase dos y con las variables obtenidas en la fase 1; posteriormente será aplicado, sobre los datos restantes, el árbol de clasificación entrenado en la fase tres; y los que sean clasificados por este como inusuales, serán los reportados como tal por la nueva técnica.

Al aplicar estas cuatro fases sobre la población de validación se obtienen las métricas observadas en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados nuevo modelo

Modelo	Nuevo Modelo
Número de muestras	4.514.994
Error	0,66%
Verdaderos positivos	1.756
Verdaderos negativos	4.483.282
Falsos positivos	7.816
Falsos negativos	22.140
Tasa de detección	7,35%
Tasa de falsos positivos	0,17%
Precisión	18,34%

Como se puede ver, comparativamente son muchas las bondades de este nuevo modelo sobre los modelos estudiados y contrastados anteriormente, la precisión obtenida del 18.34% mejora en un 57.16% más la mejor precisión obtenida hasta ahora que era la del clúster de dos fases; las tasas de error y de falsos positivos siguen siendo significativamente muy bajas, del 0.66% y 0.17%, respectivamente; lo más importante del mé-

todo es la cantidad de registros que al final reporta como sospechosos, tan solo 9.572 individuos, teniendo en cuenta el gran número de individuos del que se parte originalmente (4.514.994 individuos), el que se tenga un método que clasifique a una cantidad no tan significativa como sospechosa teniendo una precisión bastante buena según los indicadores de referencia resulta provechoso, porque este número de registros brinda la posibilidad de realizar una investigación minuciosa en cada uno de los individuos marcados como sospechosos por el modelo; así gran parte del esfuerzo realizado no se perderá y sube considerablemente la cantidad de reportes realizados a los entes superiores.

5. TRABAJOS FUTUROS

Los resultados de la implementación del modelo creado fueron positivos en comparación a lo revisado en la literatura; no obstante, hay modelos más robustos que pueden ser empleados con el fin de refinar mucho más los resultados, porque si bien lo arrojado es aplicable en la vida real con un resultado aceptable, continúa siendo alto el umbral de operaciones no detectadas.

Esta investigación otorga un punto de partida sobre la utilización de variables no transaccionales en la detección de operaciones sospechosas de lavado de activos, y cómo éstas pueden ayudar a la obtención de mejores resultados.

6. CONCLUSIONES

Este artículo da cuenta de una breve introducción al problema del lavado de activos, las consecuencias de este en la sociedad y de cómo las entidades financieras trabajan para mitigar su impacto implementando sistemas de detección de lavado de activos, con lo cual se introduce un nuevo problema que radica en poder detectar efectivamente el lavado de activos sin producir altos índices de falsos positivos, pues esto ocasiona pérdida de recursos como tiempo de personas encargadas de investigar estas operaciones y di-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2904>

nero de las entidades financieras, además que la poca eficiencia de los sistemas de detección da cabida a que se materialicen los riesgos del lavado de activos.

Al implementar las principales metodologías de lavado de activos encontradas en la literatura, las cuales solo hacen uso de variables transaccionales y no tienen en cuenta una caracterización de quién realiza la operación, se compararon con unas métricas definidas en el artículo, estableciendo que la técnica que más bondades ofrece es la máquina de soporte vectorial. Este conocimiento y la experiencia obtenida al implementar las otras técnicas permitió crear una nueva, la cual, sí hace uso de variables sociodemográficas de quien realiza la operación, y fue evaluada con las mismas métricas, así se estableció que ofrece mejores resultados.

Finalmente, la nueva técnica implementada consistió en la utilización del mejor modelo estudiado, que es la máquina de soporte vectorial, así los datos arrojados por este fueron posteriormente utilizados por un árbol de clasificación consiguiendo ser refinados y se obtuvieron mejores resultados.

REFERENCIAS

- [1] B. Buchanan, "Money laundering a global obstacle", *Res. Int. Bus. Finance*, vol. 18, no. 1, pp. 115-127, April. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2004.02.001>
- [2] Congreso de Colombia, "Ley 599 de 2000, Art. 323", *Diario Oficial* no. 44.097, julio 24 de 2000. Recuperado de <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/co/co028es.pdf>
- [3] B. Unger et al., *The amounts and effects of money laundering*, Ministry of Finance, 2006.
- [4] UNODC, "Estimating illicit financial flows resulting from drug trafficking and other transnational organized crimes". United Nations Office on Drugs and Crime, 2011.
- [5] J. Walker and B. Unger, "Measuring global money laundering: the Walker gravity model", *Review of Law & Economics*, vol. 5, no. 2, pp. 821-853, 2009.
- [6] M. Levi, "Money Laundering and Its Regulation", *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, vol. 582, no 1, pp. 181-194, January. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1177/000271620258200113>
- [7] F. A. T. Force, "The forty recommendations", 2003.
- [8] B. Bartlett, "The negative effects of money laundering on economic development", *The Asian Development Bank Regional Technical Assistance Project No. 5967*, 2002.
- [9] P. J. Quirk, "Money laundering: muddying the macroeconomy", *Finance Dev.*, vol. 34, pp. 7-9, 1997. Retrieved from <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/1997/03/pdf/quirk.pdf>
- [10] R. Menon and S. Kuman, «Understanding the role of technology in anti money laundering compliance», *Infosys Technol. Ltd*, vol. 1, pp. 2-4, 2005.
- [11] DOWJONES, *AML Survey Results from Dow Jones Risk & Compliance & ACAMS*, 2011.
- [12] Z. Gao and M. Ye, "A framework for data mining based anti money laundering research", *Journal of Money Laundering Control*, vol. 10, no. 2, pp. 170-179, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1108/13685200710746875>
- [13] N. A. L. Khac and M. T. Kechadi, "Application of Data Mining for Anti money Laundering Detection: A Case Study", in *2010 IEEE International Conference on Data Mining Workshops*, 2010, pp. 577-584.
- [14] K. D. Rohit and D. B. Patel, "Review On Detection of Suspicious Transaction In Anti Money Laundering Using Data Mining Framework", *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, vol. 1, no. 8, pp. 129-133, 2015.

- [15] P. Baldi, S. Brunak, Y. Chauvin, C. A. Andersen, and H. Nielsen, "Assessing the accuracy of prediction algorithms for classification: an overview", *Bioinformatics*, vol. 16, no. 5, pp. 412-424, 2000. DOI: <https://academic.oup.com/bioinformatics/article/16/5/412/192336>
- [16] T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis", *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 27, no. 8, pp. 861-874, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>
- [17] C. Liu, P. M. Berry, T. P. Dawson, and R. G. Pearson, "Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions", *Ecography*, vol. 28, no. 3, pp. 385-393, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>
- [18] S. Raza and S. Haider, "Suspicious activity reporting using dynamic bayesian networks", *Procedia Computer Science*, vol. 3, pp. 987-991, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2010.12.162>
- [19] L.T. Lv, N. Ji, and J.L. Zhang, "A RBF neural network model for anti money laundering", *International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, 2008. ICWAPR '08, 2008, vol. 1, pp. 209-215. DOI: 10.1109/ICWAPR.2008.4635778
- [20] J. Tang and J. Yin, "Developing an intelligent data discriminating system of anti money laundering based on SVM", in *Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2005, vol. 6, pp. 3453-3457. DOI: 10.1109/ICMLC.2005.1527539
- [21] M. F. Jiang, S. S. Tseng, and C. M. Su, "Two phase clustering process for outliers detection", *Pattern Recognition Letters*, vol. 22, no. 6-7, pp. 691-700, may 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(00\)00131-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(00)00131-8)
- [22] Z. Chen, L. D. V. Khoa, A. Nazir, E. N. Teoh, and E. K. Karupiah, "Exploration of the effectiveness of expectation maximization algorithm for suspicious transaction detection in anti money laundering", in *IEEE Conference on Open Systems (ICOS)*, 2014, pp. 145-149. DOI: 10.1109/UEMCON.2016.7777919
- [23] X. Liu, P. Zhang, and D. Zeng, "Sequence matching for suspicious activity detection in anti money laundering", in *Intelligence and Security Informatics, Springer*, 2008, pp. 50-61. DOI: 10.1007/978-3-540-69304-8_6
- [24] J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani, *The elements of statistical learning*, vol. 1. Springer series in statistics Springer, Berlin, 2001.
- [25] Q. Wei and R. L. Dunbrack Jr, "The role of balanced training and testing data sets for binary classifiers in bioinformatics", *PLoS One*, vol. 8, no. 7, p. e67863, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067863>
- [26] N. V. Chawla, "C4. 5 and imbalanced data sets: investigating the effect of sampling method, probabilistic estimate, and decision tree structure", in *Proceedings of the ICML*, 2003, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-69304-8_6
- [27] N. Japkowicz, "Learning from imbalanced data sets: a comparison of various strategies", in *AAA/ workshop on learning from imbalanced data sets*, 2000, vol. 68, pp. 10-15. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/1af9/6acae07b1e141f98f3df973eaf9e0a9226fb.pdf>
- [28] C. Drummond and R. C. Holte, "C4. 5, class imbalance, and cost sensitivity: why under sampling beats over sampling", in *Workshop on learning from imbalanced datasets II*, 2003, vol. 11. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/144b/bbaf2f0876c23295019b6e380c9fe4feda3.pdf>

Pruebas a aplicaciones móviles: avances y retos

Mobile applications testing: advances and challenges

Sandra Milena Velásquez*
Doris Elena Monsalve Sossa**
Mauricio Eduardo Zapata***
Marta Ester Gómez Adasme****
Juan Pablo Ríos*****

(Recibido el 11-06-2018. Aprobado el 12-11-2018)

Estilo de citación de artículo:

S. M. Velásquez, D. E. Monsalve Sossa, M. E. Zapata, M. E. Gómez Adasme, y J. P. Ríos "Pruebas a aplicaciones móviles: avances y retos, *Lámpsakos*, No. 21, pp. 39-50. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2983>

Resumen.

En los últimos años, las aplicaciones móviles han penetrado todos los mercados de cualquier industria, razón por la que cada vez es más importante para los desarrolladores conocer las técnicas y métodos de prueba específicos para aplicaciones móviles. Dichas aplicaciones son diferentes a las de la web y de escritorio tradicionales, por lo que requieren un enfoque distinto en su construcción. Este enfoque debe generar confiabilidad en el usuario final, quien puede ser cualquier persona que utilice un teléfono inteligente. Tal situación conlleva nuevos desafíos para las empresas o personas que desarrollan aplicaciones móviles. Por este motivo, este trabajo busca reflexionar sobre los avances de las técnicas y métodos de prueba para las aplicaciones móviles, así como de los retos que las empresas y los desarrolladores pueden tener a la hora de crear una estrategia para probar sus aplicaciones y poder lanzarlas al mercado disminuyendo el riesgo de errores en producción.

Palabras clave: Aplicaciones móviles; Pruebas basadas en el riesgo; Desarrollo; Pruebas para aplicaciones móviles; Avances; Riesgo; Técnicas; Métodos; Confiabilidad; Ingeniero de Software.

* Magíster en Ingeniería, Centro de Servicios y la Gestión Empresarial. Grupo de investigación GIGAT. Antioquia, Colombia. Correo electrónico: smvelasquez@sena.edu.co

** Especialista en Pedagogía de la Virtualidad, Ingeniera de Sistemas, Centro de Servicios y la Gestión Empresarial. Grupo de investigación GIGAT. Antioquia, Colombia. Correo electrónico: dmsos@misena.edu.co

*** Ingeniero en Sistemas, Analista de Desarrollo Choucair Testing, Antioquia, Colombia. Correo electrónico: mezapata@choucairtesting.com

**** Especialista en redes corporativas e integración de tecnologías, Ingeniera de Sistemas, Centro de Servicios y la Gestión Empresarial. Grupo de investigación GIGAT. Antioquia, Colombia. Correo electrónico: Mega2808@misena.edu.co

***** Magíster en Ingeniería, R&D&i Manager Choucair Testing, Antioquia, Colombia. Correo electrónico: jprios@choucairtesting.com

Abstract:

In recent years, mobile applications have pervaded all markets in any industry, this is why it is increasingly important for developers to know the techniques and specific testing methods of mobile applications. These applications are different from those of the traditional web and desktop, so they require a different approach in their development. This approach should generate reliability in the final consumer, who could be any person who uses a smartphone. This situation brings new challenges for companies or people who develop mobile applications. For this reason, this work intends reflecting on the advances in techniques and testing methods of mobile applications, as well as the challenges that companies and developers may have when creating a strategy to test their applications and release them to the market, reducing the risk of error in production.

Keywords: Mobile apps; Risk-based testing; Development; Testing for mobile applications; Advances; Risk; Techniques; Methods; Reliability; Software engineer.

1. INTRODUCCIÓN

Cada día las personas utilizan más teléfonos inteligentes de alta gama basados en sistemas operativos móviles modernos que ofrecen una excelente conectividad y una computación avanzada gracias a sus procesadores, altas resoluciones en sus pantallas táctiles, sus avanzados sensores, GPS, acceso por medio de Wi-Fi, datos de alta velocidad, entre otras características [1]; todo ello se ha visto reflejado en el aumento del uso de las aplicaciones móviles. Estas pueden considerarse como software desarrollado para ser ejecutado en dispositivos como tabletas, teléfonos o relojes inteligentes que poseen un sistema operativo apto para ello.

En los últimos años, la tecnología de internet móvil ha penetrado todos los mercados de las industrias, lo cual ha ocasionado que la seguridad de las aplicaciones se está volviendo cada vez más importante [2], por lo tanto, los desarrolladores deben encontrar nuevas formas de revisar y probar los contenidos, de manera que se puedan depurar las aplicaciones antes de salir al mercado, con el fin de evitar errores [3]. Es de anotar que no solo la seguridad es importante, también existen otros atributos que deben ser evaluados, como por ejemplo el desempeño.

Sin embargo, aprender a realizar pruebas a software no es tan simple como parece, a pesar de que en la actualidad existen esquemas de certificación de conocimiento de prueba como ISTQB, ISEB, GTB [4], [5], [6], libros de gran importancia para el aprendizaje del tema y estándares internacionales para la implementación de estas como ISTQB, BS 7925, IEEE 829, 1008, 1012, ISO / IEC 29119, SWEBOK [7]. El éxito de la realización de las pruebas de software obedece a las habilidades, conocimientos, intuición y experiencia de las personas que conforman el equipo de pruebas [8].

Ahora bien, para un probador o ingeniero de pruebas de software siempre existirán unas actividades primordiales y esenciales que no cambiarán, como lo son: el planear la estrategia, diseñar casos de prueba, ejecutar los casos de prueba diseñados, observar y analizar los resultados. A estas se suman otras activi-

dades: métodos modernos, las pruebas exploratorias, la verificación en tiempo de ejecución [7], lo cual incluye el conocimiento en temas como la automatización y la administración del tiempo de prueba, en la lista de tareas del probador.

Las pruebas en aplicaciones móviles, como cualquier otro tipo de pruebas de software, se basan en la verificación y validación de las métricas priorizadas de acuerdo con la experiencia del usuario, la población a la cual va dirigida, el tipo de aplicación móvil, el tipo de dispositivo, la plataforma tecnológica empleada para su desarrollo y ejecución; que el probador establece a través del plan de pruebas y el diseño de casos de prueba, para los cuales debe aplicar técnicas de estimación y diseños (caja negra y caja blanca). Para la ejecución, el probador puede utilizar herramientas de automatización, como Appium [30], para lograr mayor cobertura y velocidad de la prueba. Durante esta etapa debe evaluar los resultados, así como reportar las situaciones que no están acordes con lo esperado. Finalmente debe realizar la gestión de su prueba, con el objeto de no incurrir en pérdidas por la no ejecución de casos, la no inclusión de características prioritarias o el desplazamiento de las fechas de entrega por las desviaciones encontradas.

2. FUNDAMENTOS DE PRUEBAS DE SOFTWARE

Atributos de calidad

Durante el ciclo de vida de los proyectos de software, los desarrolladores realizan las pruebas como una actividad que busca avalar que el producto cumpla con los requerimientos de los usuarios [9], garantizando su calidad.

Acercas de la calidad de productos de software encontramos varias normas como la ISO ISO/IEC 25021, que describe la evaluación de los requerimientos [10], la ISO/IEC 25000, SQuaRE (requisitos y calidad del software), la cual realiza un compendio de la ISO/IEC 14598 y la ISO/IEC 9126 orientada directamente al

evaluador [11], [12]; la ISO/IEC 29119, norma que hace una recopilación de los criterios de calidad presentes en la ISO/IEC 9126 y que está orientada a la funcionalidad y la satisfacción del cliente [11], [12], [13]; y la IEEE-610, en la cual se relacionan los requisitos indispensables del producto (Fig. 1).



Fig. 1: Requisitos de calidad de productos de software. Fuente: adaptado de [14].

Dentro de estos requisitos de calidad del producto de software, la usabilidad es considerada como uno de los más importantes. Dicho atributo demuestra la facilidad con la que un consumidor puede utilizar una aplicación de software [15].

En el estudio de Harrison et al. [16] se realizó una revisión específica de los modelos para probar el requisito de usabilidad en aplicaciones móviles. La investigación encontró que la mayoría de los modelos de usabilidad implementados para probar aplicaciones móviles son incompletos, ya que solo se enfocan en tres atributos de usabilidad: efectividad, eficiencia y satisfacción; y relegan otros importantes, como la sobrecarga cognitiva. Para abordar este problema, [16] propusieron un nuevo modelo de usabilidad conocido como PACMAD (People At the Center of Mobile Application Development) [16].

Se identificó además que el atributo de accesibilidad en ocasiones puede verificarse estáticamente, pero los widgets de la interfaz de usuario a menudo se crean dinámicamente y no son susceptibles de comprobación estática, lo cual implica un desafío para el probador, pues debe desarrollar un conjunto de pruebas exhaustivas para afrontar esta limitante. Es por lo que investigadores han presen-

tado como alternativa la implementación de pruebas automáticas para analizar el acceso a las aplicaciones móviles, ejemplo de esto es la herramienta MATE (Mobile Accessibility Testing) [17], que explora automáticamente las aplicaciones y ejecuta diferentes controles para problemas de accesibilidad relacionados con la discapacidad visual.

Por lo tanto, se ha evidenciado en esta búsqueda que los estudios recientes hablan más de estudios de pruebas del área de automatización [18], [19] sin hacer énfasis en los tipos de pruebas, técnicas, y en las métricas que demuestren la conformidad del ciclo de vida del desarrollo, el cual es de más utilidad para personas que apenas están iniciando en este mundo de pruebas de software, en especial del área de aplicaciones móviles.

Un estudio de revisión de la literatura realizado por Muccini [20], acerca de los desafíos de las pruebas de aplicaciones móviles, sugiere más direcciones de investigación, ya que en el estudio identifica varios vacíos en las áreas de pruebas de servicios móviles, automatización de pruebas e integración de pruebas para aplicaciones móviles [20].

Marcos de trabajo y niveles de pruebas

En cuanto a marcos de trabajo para pruebas de software, tenemos principalmente dos: los secuenciales y los iterativos e incrementales. De ambos se pueden apreciar algunos ejemplos en la Fig. 2.

Actualmente, los marcos de trabajo preferidos para la creación de aplicaciones son los orientados al agilidad [21]; esto no debe constituirse en una camisa de fuerza para el probador, pues independiente del marco de trabajo, los niveles de pruebas siempre aplicarán.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2983>

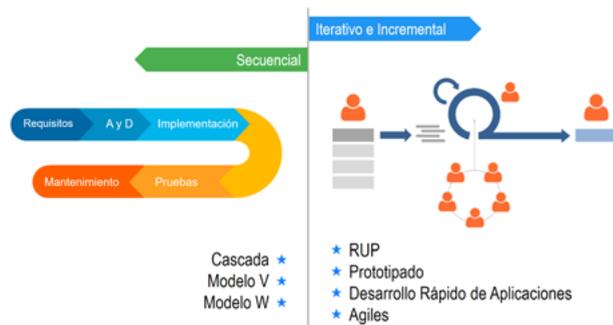


Fig. 2: Marcos de trabajo de desarrollo.

Cuando se habla de nivel de pruebas se hace referencia al alcance de evaluación del producto, lo cual depende de su propósito, uso, comportamiento o estructura [22]. Según el alcance, estos niveles están compuestos por una serie de pruebas como lo son la prueba unitaria, la prueba de componentes, prueba de integración, prueba de sistemas, prueba de aceptación y la prueba de regresión (tabla 1).

Tabla 1. Tipos de pruebas según la clasificación por niveles

Tipo de prueba	Descripción
Pruebas unitarias [23]	Buscan probar las unidades más pequeñas del software, el componente o módulo de software, con el objetivo de validar cada uno, teniendo en cuenta que las metodologías de desarrollo de software separan entre los diferentes programadores, la complejidad de los requisitos funcionales sobre los no funcionales.
Pruebas de componentes [24]	Seleccionan un módulo, lo aíslan del resto del código, con el fin de establecer si se comporta exactamente como se espera. Es decir, cada componente se prueba por separado antes de integrarlo en un servicio.
Pruebas de integración [22, 24]	Se concentran en verificar que los diferentes componentes del software estén bien ensamblados, una vez que se probaron unitariamente.
Pruebas de sistema [22]	Buscan probar el sistema en su conjunto y con otros sistemas con los que se relaciona, con el fin de verificar que las especificaciones, tanto técnicas como funcionales, se cumplen.
Pruebas de aceptación [22, 24]	Son realizadas por los usuarios que verifican que el sistema o aplicación esté listo para la salida a producción.
Pruebas de regresión [24]	Ejecución de casos de pruebas anteriormente efectuados cuando se implementan cambios en el software.

Se debe tener presente que cada nivel de pruebas está a cargo de un responsable de su ejecución, como se muestra en la Fig. 3.



Fig. 3: Niveles de pruebas y sus responsables.

3. ELEMENTOS PRESENTES EN LA TECNOLOGÍA MÓVIL

El probador debe tener presente siempre en su labor el mapa mental de la Fig. 4.

Redes

Las redes de transmisión celular son la infraestructura base de la tecnología móvil. El probador considera cómo operará la aplicación en la red, que puede funcionar bajo alguno de los siguientes modos: nunca, parcialmente o siempre conectada. Esto es importante, pues el acceso a los datos puede hacerse a través del mecanismo de inserción (“push”) o extracción (“pull”). La inserción hace referencia a cuando el servidor envía información al cliente, y la extracción cuando el cliente solicita la información al servidor.

También se debe considerar la velocidad de conexión del tipo de red. Las aplicaciones cuyo funcionamiento exija una conexión permanente deben considerar el tipo de red de transmisión, pues no tener presente las características de la infraestructura puede conllevar a problemas de rendimiento de la aplicación. La tabla 2 describe las velocidades para las redes más conocidas.

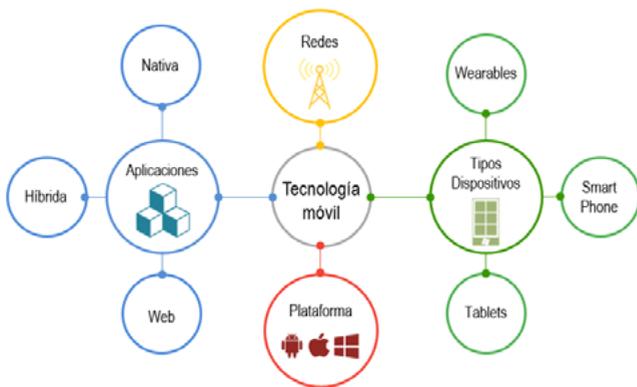


Fig. 4: Mapa mental de la tecnología móvil.

Tabla 2. Velocidades de conexión de las redes de transmisión celular más conocidas

Red	Denominación	Velocidad
GSM	2G	Hasta 0,009 Mbps de descarga
GPRS	2.5G	Hasta 0,08 Mbps de descarga
EDGE	2.75G	Hasta 0,236 Mbps de descarga
UMTS	3G	Hasta 0,384 Mbps de descarga
HSPA	3.5G	Hasta 7,2 Mbps de descarga
HSPA+	3.75G	Hasta 22 Mbps de descarga
LTE	4G	Hasta 75 Mbps de descarga

Tipos de dispositivos

Debido a la cantidad de fabricantes existe una numerosa oferta de dispositivos móviles. El probador debe apoyarse en estudios del mercado y sitios que recopilen estadísticas de uso, con el objeto de seleccionar los dispositivos relevantes para su prueba.

Actualmente se clasifican los dispositivos en tres grandes grupos: teléfonos inteligentes, tabletas y dispositivos incorporados (“wearable”). Esta clasificación se fundamenta en el uso que se le da a cada grupo.

Otro elemento que debe tener presente relacionado con los dispositivos móviles son los componentes del mismo. De acuerdo al dispositivo seleccionado para la prueba, debe conocer qué tipo de elementos posee, con el objeto de estructurar los diferentes casos

de prueba relacionados con las funcionalidades de la aplicación. Casos de prueba que pueden estar asociados a conexiones wifi, GPS, bluetooth, tecnología NFC, batería, tarjeta SIM, memoria, sensor de movimiento, sensor de luz, sensor de localización, entre otros.

Tipos de aplicaciones

Existen tres tipos de aplicaciones: nativas, híbridas y web. A diferencia de las aplicaciones web (basadas en el navegador), las aplicaciones nativas e híbridas están instaladas físicamente en el dispositivo y, por lo tanto, siempre están disponibles para el usuario.

Dependiendo del tipo de aplicación, el probador establece qué tipos de casos debe incorporar. Por ejemplo, para las aplicaciones nativas e híbridas es indispensable adicionar casos para revisar la instalación y desinstalación de la aplicación en el dispositivo.

Para el caso de una aplicación web, el probador debe considerar la arquitectura de la solución. Es decir, si es una arquitectura de una sola capa o multi-capas. Dependiendo de esto y del volumen de usuarios esperado para la aplicación, se pueden incluir casos de prueba de desempeño.

La tabla 3 muestra un comparativo de las características básicas para cada tipo de aplicación.

Tabla 3. Comparación de los tipos de aplicaciones móviles

Característica	Nativa	Híbrida	Web
Uso de características específicas del dispositivo	Alta	Media	Baja
Uso de APIs nativas	Alta	Media	Baja
Uso de gráficos	Alta	Media	Media
Calidad de la interfaz de usuario	Alta	Media	Baja
Capacidad de actualización	Baja	Media	Alta
Portabilidad	Ninguna	Alta	Alta
Instalación en el dispositivo	Sí	Sí	No

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2983>

Plataformas

La plataforma o sistema operativo móvil es el encargado de manejar, controlar y gestionar todo lo relacionado con los recursos de hardware de un dispositivo móvil. Esto trae consigo grandes retos para los fabricantes y desarrolladores, pues deben optimizar la gestión de procesos, el manejo de memoria principal y secundaria y la gestión de archivos, sin sacrificar el rendimiento y la seguridad.

Hoy en día el mercado es dominado por dos sistemas operativos móviles: Android y iOS. Ambos tienen definida una estructura por capas, es decir, cada nivel o capa definida representa una abstracción de la arquitectura del sistema operativo, lo que permite un mayor entendimiento del funcionamiento de estos. Estas capas son: el kernel, el middleware, el entorno de ejecución y la interfaz de usuario.

El probador debe conocer los elementos básicos que conforman la arquitectura de ambos sistemas operativos, así como su fragmentación (diferentes versiones), con el objeto de seleccionar las combinaciones de marca del tipo de dispositivo, versión del sistema operativo y el tamaño de pantalla para los casos de prueba.

4. PRUEBAS DE APLICACIONES MÓVILES

Planeación

Una vez establecido el marco de trabajo de desarrollo bajo el cual se construirá la aplicación móvil, el probador debe establecer la estrategia que servirá de hilo conductor para la prueba. Debe considerar varios elementos para su elaboración: el alcance deseado (depende del marco de trabajo); los supuestos que se deben tener presente; las renunciaciones, es decir, que no hará parte del alcance; los tiempos estimados para la prueba; y la repartición de actividades entre los integrantes del equipo de pruebas.

Un aspecto muy contundente en el momento de elaborar la planeación para la prueba de una aplicación móvil es la utilización del triángulo de las restricciones [25]; dicha herramienta para este tipo de proyectos es altamente efectiva, pues ayuda a delimitar las aristas asociadas con la fecha de entrega, la funcionalidad a probar y los recursos a emplear con base en las limitantes y/o prioridades de cada una de las aristas.

Otro elemento útil y que debe estar en la planeación es la utilización del riesgo como herramienta, ya sea como apoyo para priorizar las funcionalidades a probar, o como herramienta para gestionar las situaciones que puedan provocar desviaciones en esfuerzo o tiempos estimados.

Adicionalmente, debe considerar tres aspectos fundamentales que delinearán el marco de la prueba:

El público objetivo

A diferencia de la prueba de un aplicativo web o de escritorio, la de una aplicación móvil normalmente está destinada a ser empleada por un segmento no tan homogéneo como el de los otros tipos de aplicaciones. Por ello se hace necesario, y como medida que se anticipe a un fracaso de la aplicación, conocer, en lo posible, el mayor detalle del segmento poblacional al que va dirigida la aplicación. Ello involucrará saber de dicho segmento: edades, ubicación geográfica, tipo de dispositivos que predominan, tipos de red presentes, entre otros. Todas estas situaciones generan información muy útil al momento de plantear la estrategia.

Los atributos de calidad funcionales, base de la aplicación móvil

El probador debe conocer los requisitos o historias de usuarios asociadas a la aplicación móvil. Esto, aparte de dar la idea de cuál es el propósito general de la aplicación construida, permite plantear los casos de prueba esenciales para probar las funcionalidades de la aplicación.

Los atributos no funcionales

Se deben contemplar en la estrategia de pruebas otros aspectos o comportamientos que podrán afectar el adecuado funcionamiento de la aplicación. Estos aspectos hacen a los atributos no funcionales que pueden evaluarse para la aplicación, como lo son: fiabilidad, compatibilidad, portabilidad, eficiencia de desempeño, mantenibilidad, usabilidad y seguridad; descritos en la Fig. 1.

Diseño de casos

Esta actividad involucra la revisión de las bases de pruebas existentes [26] para la aplicación, análisis de la testability, identificar y priorizar las condiciones de pruebas, el diseño de los casos de prueba (positivos y negativos), diseños de las rutinas (scripts) de automatización y la obtención de datos para la prueba.

Técnicas comunes

Para la creación de los casos de prueba se debe recurrir a las técnicas comunes de diseño de casos, tanto desde el análisis dinámico, como estático.

Dentro del análisis dinámico (se ejecutan los componentes), el probador puede emplear técnicas de caja negra como partición de equivalencias, análisis de valores límite, pruebas de transición de estado, tablas de decisión, algoritmo dual ("pairwise") y técnicas estadísticas. También puede hacer uso de técnicas de caja blanca, siempre y cuando tenga acceso al código de la aplicación; dentro de estas puede emplear el análisis por cobertura de sentencia, rama, condición y camino.

Para el análisis estático (no hay ejecución de componentes) puede emplear técnicas como revisiones guiadas ("walkthroughs"), análisis del flujo de control, análisis del flujo de datos y métricas compilador/análizador.

Adicionalmente, el probador puede basarse en la experiencia como la predicción de errores ("error guessing") en la práctica o las pruebas exploratorias ("exploratory testing").

Casos propios de la tecnología móvil

Debido a las características de la tecnología móvil, se deben contemplar otras situaciones que pueden afectar el comportamiento funcional o transaccional de la aplicación. El probador, de acuerdo con la estrategia de prueba diseñada, puede evaluar las siguientes características para una aplicación:

- El proceso de instalación y desinstalación
- El control de errores que posee
- Cambios de red
- El comportamiento en escenarios multitarea
- Las visualizaciones en modo horizontal y vertical
- Pruebas en diferentes tipos de resoluciones y tamaños de pantalla
- Si se presenta integración con servidor, tener presente los diferentes escenarios de intercambio de información
- Comprobar si la aplicación afecta o es afectada por otras aplicaciones
- El comportamiento frente al uso de los controles propios del dispositivo
- Adicionar escenarios asociados a características propias de estos dispositivos como girar, agitar, realizar diferentes tipos de gestos táctiles sobre la pantalla
- Pruebas de interrupciones por mensajes, llamadas, conexión y desconexión de cables

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2983>

- Comportamiento frente a los diferentes métodos de entrada incluyendo los sensores
- Pruebas de consumo de energía.

Estas son algunas de las situaciones que pueden ser contempladas desde el punto de vista del comportamiento móvil de la aplicación y que pueden afectar el funcionamiento de la misma en el dispositivo móvil.

Ejecución

Durante esta etapa, el probador debe verificar la completitud de casos y datos de prueba (priorización y organización en procedimientos), ejecutar la prueba de acuerdo con la estrategia, los riesgos y la priorización de funcionalidades a evaluar [27]. Realizar el registro de los resultados (evidencia), análisis de los mismos y el reporte de incidentes (errores, preguntas, sugerencias y hallazgos) encontrados durante la ejecución.

Tipos de ejecución

Los casos de prueba pueden ser ejecutados en forma manual o automatizada. El probador puede emplear las técnicas de automatización de casos de prueba para lograr mayor cobertura de la prueba y velocidad en la ejecución de casos repetitivos así, puede centrar su esfuerzo en la ejecución de los casos de pruebas críticos.

Una buena práctica es la automatización de errores encontrados, con el fin de reutilizar estas rutinas en nuevas versiones de la aplicación. Con esto se logra eficiencia en la ejecución de la prueba [28].

El probador debe estar evaluando constantemente si se cumplieron los criterios de finalización de la prueba, con el objeto de ejecutar la regresión y dejar en un estado terminal las incidencias reportadas.

Herramientas

Durante la ejecución de la prueba se puede hacer uso de diferentes tipos de herramientas que generan velocidad y control en el avance de la prueba. Básicamente, el probador de aplicaciones móviles debe tener conocimiento en herramientas que permitan automatizar, emular y simular la aplicación, reportar incidencias (bugtracker), comunicarse con el equipo, gestionar el ciclo de vida de la prueba [29].

Hoy en día, con los nuevos marcos de construcción de software, existe una gran variedad de herramientas que se emplean durante la ejecución del proyecto de software. Muestra de ello es DevOps, en donde cada etapa (colaborar, construir, probar, desplegar y ejecutar) posee una extensa gama de herramientas. La tabla 4 muestra ejemplos de herramientas para las etapas de DevOps.

Tabla 4. Ejemplos de herramientas empleadas en las etapas de DevOps

Etapa	Tipo de herramienta	Ejemplos
Colaborar	Gestión del ciclo de vida	Jir, Mingle, Trello, Visual Studio Team Foundation Server, Asana
	Comunicaciones	Slack, Microsoft Teams, HipChat, Flowdock, Nestor
	Compartir conocimiento	Github pages, Hugo, Flarum, Open API, Confluence
Construir	SCM/VCS	Git, Github, Gitlab, Bitbucket, Gitbucket
	Integración continua	Jenkins, Travis CI, Bamboo, Wercker, Codeship
	Construir	Sbt, Gradle, Grunt, Maven, Docker
Probar	Gestión de base de datos	DBmaestro, DBDeploy, Flyway, Flocker, Redgote
	Probar	Selenium, JUnit, Appium, Cucumber, JMeter, Pytest
	Despliegue	Octopus Deploy, Rundeck, Nolio, Elasticbox, Spinnaker
Desplegar	Gestión de la configuración	Puppet, Chef, CFEngine, Ansible, Vagrant
	Gestión de artefactos	Dockerhub, Quay, Registry, Bower, Archiva
Ejecutar	Nube / IaaS / PaaS	Amazon Webservices, Dokku, Flynn, Microsoft Azure, Heroku
	Orquestación y Agendamiento	Kubernetes, Rancher, Swarm, Mesosphere, Nomad
	BI y Monitoreo	Datadog, Google Analytics, Dynatrace, Kibana, Sentry

Gestión y entrega

El probador, durante el ciclo de vida de la prueba, debe realizar la toma de datos con base en las métricas definidas, con el objeto de decidir las acciones que se deben realizar (medidas correctivas o preventivas) a tiempo. Adicionalmente, en caso de cambios en el alcance, validar el impacto de estos en la estrategia de la prueba.

Una vez finalizada la prueba, el probador reporta las lecciones aprendidas, las mejoras al proceso, la deuda técnica que genera en el proyecto para futuras versiones, y actualizar la base de datos de la prueba con los casos relevantes, errores automatizados, las rutinas de automatización y los datos que pueden ser reutilizados en comprobaciones futuras de la aplicación.

5. CONCLUSIONES

Con la incursión de las tecnologías móviles y sus características, se hace necesario que los probadores amplíen sus habilidades para evaluar las aplicaciones diseñadas para dispositivos móviles. Estas habilidades se deben centrar en evaluar la aplicación a probar desde varias dimensiones; no solo el aspecto funcional debe primar.

En la actualidad, la fragmentación móvil es el mayor desafío que enfrentan los constructores de aplicaciones para dispositivos móviles, pues la cantidad de opciones a probar dadas por la combinatoria de las variables: sistemas operativos móviles, versión del sistema operativo móvil, tamaño de la pantalla y fabricante del dispositivo, es enorme. Por tal motivo, surge la necesidad de encontrar estrategias de ejecución en los dispositivos físicos y otros entornos, que generen un balance en los costos y la cobertura del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Al Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA (SENNOVA) por el financiamiento del proyecto “Modelo de pruebas para mitigar los riesgos de fragmentación de dispositivos móviles bajo modelos en-sito y nube pública”.

REFERENCIAS

- [1] S. Zein, N. Salleh, and J. Grundy, “A systematic mapping study of mobile application testing techniques”, *Journal of Systems and Software*, vol. 117, pp. 334-356, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.03.065>
- [2] S. Yin, J. Sheng, T. Wang and H. Xu, “Analysis on Mobile Payment Security and Its Defense Strategy”, in *International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, pp. 941-946, 2018.
- [3] B. Burg, R. Bailey, A. J. Ko, and M. D. Ernst, “Interactive record/replay for web application debugging”, in *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 473-484, 2013.
- [4] ISTQB: International Software Testing Qualifications Board. Available: www.istqb.org
- [5] ISEB: Information Systems Examinations Board of British Computer Society. Available: <https://certifications.bcs.org/>
- [6] GTB: German Testing Board. Available: www.german-testing-board.info
- [7] L. Strazdiņa, V. Arnicane, G. Arnicans, J. Bičevskis, J. Borzovs, and I. Kuļešovs, “What Software Test Approaches, Methods, and Techniques are Actually Used in Software Industry?”, in *Doctoral Consortium/Forum@DB&IS*, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2983>

- [8] S. Dalal, K. Solanki, and S, "Challenges of regression testing: a pragmatic perspective". *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 9, no. 1, pp. 499-503, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v9i1.5424>
- [9] D. E. Soto Durán, A. X. Reyes Gamboa, y J. Jiménez Builes, "Aplicación de la Gestión de Conocimiento al proceso de pruebas de software", *Ingenierías USBMed*, vol. 8, no. 2, pp. 6-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21500/20275846.2836>
- [10] M. Steiner, M. Blaschke, M. Philipp, and T. Schweigert, "Make test process assessment similar to software process assessment—the Test SPICE approach". *Journal of Software: Evolution and Process*, vol. 24, no. 5, pp 471-480, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/smr.507>
- [11] I. Acosta, E. Nieto, y C. Barahona, "Metodología para la evaluación de calidad de los productos software de la Universidad de Cundinamarca". *ENGI Revista Electrónica de la Facultad de Ingeniería*, vol. 3, no. 2, pp. 13-16.
- [12] S. Ali, and T. Yue, "Formalizing the ISO/IEC/IEEE 29119 Software Testing Standard". In 2015 ACM/IEEE 18th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS), Ottawa, Canadá, 2015, pp. 396-405.
- [13] A. Dávila, C. García, and S. Cóndor, "Análisis exploratorio en la adopción de prácticas de pruebas de software de la ISO/IEC 29119-2 en organizaciones de Lima, Perú", *RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, no. 21, pp. 1-17, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17013/risti.21.1-17>.
- [14] ISO 25000. ISO/IEC 25010 [Online]. Available: <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25010>
- [15] J. G. Enríquez, y S. I. Casas, "Usabilidad en aplicaciones móviles", *Informes Científicos-Técnicos UNPA*, vol. 5, no. 2, pp. 25-47, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.22305/ict-unpa.v5i2.71>
- [16] R. Harrison, D. Flood, and D. J. Duce, "Usability of mobile applications: literature review and rationale for a new usability model" *Journal of Interaction Science*, vol. 1, no. 1, pp. 1-16, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/2194-0827-1-1>
- [17] M. Medeiros Eler, J. M. Rojas, Y. Ge, and G. Fraser, "Automated Accessibility Testing of Mobile Apps", in *Software Testing, Verification and Validation (ICST)*, 2018 IEEE 11th International Conference on, 2018, pp. 116-126.
- [18] D. Amalfitano, N. Amatucci, A. M. Memon, P. Tramontana, and A. R. Fasolino. "A general framework for comparing automatic testing techniques of Android mobile apps", *Journal of Systems and Software*, vol. 125, pp. 322-343, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.12.017>
- [19] L. Deng, J. Offutt, P. Ammann, and N. Mirzaei, "Mutation operators for testing Android apps", *Information and Software Technology*, vol. 81, pp. 154-168, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.04.012>
- [20] H. Muccini, A. Di Francesco, and P. Esposito, "Software testing of mobile applications: challenges and future research directions". In *Proceedings of the 2012 7th International Workshop on Automation of Software Test (AST)*, 2012, pp. 29-35.
- [21] InfoQ. (2018, July 01). 2018 State of Testing Report. Available: <https://www.infoq.com/articles/state-of-testing-report-2018>
- [22] P. Bourque, and R. E. Fairley (Eds.). *Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK (R)): Version 3.0*. IEEE Computer Society Press.

- [23] B. Bruegge, A. H. Dutoit. *Ingeniería de software orientado a objetos*. México: Pearson educación, 2002.
- [24] H. A. Parada Gélvez. *Contribución a la gestión de los procesos de pruebas de software y servicios*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [25] Scott Ambler. The “Broken Iron Triangle”: Software Development Anti-Pattern. Available: <http://www.amblysoft.com/essays/brokenTriangle.html>
- [26] J. L. Aristegui, “Los casos de prueba en la prueba de software”, *Lámpsakos*, no. 3, pp. 27-34, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.785>
- [27] A. Granollers i Saltiveri, J. Lorés Vidal, y J. J. Cañas Delgado. *Diseño de sistemas interactivos centrados en el usuario*. Barcelona: UOC, 2011.
- [28] R. Pressman. *Ingeniería del software: un enfoque práctico*. México D.F.: McGraw-Hill, 2006.
- [29] E. Torres, E. Sevillano, y J. Lodos. “Herramienta para la ejecución de componentes de pruebas”, en: *Memorias de la XIV Convención y Expo Internacional de Informática. V Taller Internacional de Calidad en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. La Habana: Universidad de las Ciencias Informáticas, 2011, pp. 145-156.
- [30] P. Macharla, “Working with Appium,” in *Android Continuous Integration: Build-Deploy-Test Automation for Android Mobile Apps*, Berkeley, CA: Apress, 2017, pp. 95–115.

Análisis de los efectos de la descarga del canal del dique sobre la estratificación salina de su desembocadura a la bahía de cartagena

Analysis of the effects of the channel release from the dam on the saline stratification of its movement to the cartagena bay

*Jessica Patricia Álvarez Carval**
*Cesar Augusto Tovio Gracia***

(Recibido el 10-08-25. Aprobado el 03-12-2018)

Estilo de citación de artículo:

J. P. Álvarez Carval, y C. A. Tovio Gracia, "Análisis de los efectos de la descarga del canal del Dique sobre la estratificación salina de su desembocadura a la Bahía de Cartagena", *Lámpsakos*, (21), pp. 51-64. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2950>

Resumen.

Los estuarios son cuerpos de agua que representan la transición del río al mar, poseen por lo tanto características de ambos, un ejemplo de este tipo de ecosistemas es la desembocadura del canal del Dique a la Bahía de Cartagena, esto originó cambios en el régimen natural de la bahía modificando la hidrodinámica (los patrones de salinidad, corriente y densidad). A pesar de que en la zona ya se han realizado investigaciones, estas no han estudiado detalladamente los patrones de salinidad y densidad, por lo que es el objeto de este trabajo de investigación, a través de la simulación y validación de parámetros que influyen sobre la estratificación salina de la zona, por medio del modelo numérico Delft3D, el cual se centra en este tipo de entornos; con lo que se caracteriza el tipo de estratificación de la intrusión salina en la zona en las condiciones simuladas.

Palabras clave: Canal del Dique; Estuario; Hidrodinámica; Modelación numérica; Salinidad; Densidad; Delft3D; Estratificación; Simulación; Bahía de Cartagena.

* Tecnóloga en Gestión Ambiental Industrial. Estudiante, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena de Indias-Colombia. Correo electrónico: jalvarez2047@tecnocomfenalco.edu.co

** Magíster en Física aplicada. Docente, Universidad del Norte, Barraquilla-Colombia. Correo electrónico: ctovio@uninorte.edu.co

Abstract.

Estuaries are water creations that represent the transition from the river to the sea, therefore, they have characteristics of both from the river and the sea as well, an example of this type of ecosystem is the channel's outlet from the dam to the Bay of Cartagena, this caused changes in the environment of the bay modifying the hydrodynamics (salinity, flowing and density patterns). Despite the research that has already been carried out in the area, those specific researches have not studied the salinity and density patterns in detail. That is why these elements, salinity and density are the object of this research work, through the simulation and validation of parameters that influence the saline stratification of the area, through the Delft3D numerical model, which focuses on this type of environment; that at the same time, characterizes the type of stratification of the saline interference in the area under the simulated conditions.

Keywords: Dam; Estuary; Hydrodynamics; Numerical modeling; Salinity; Density; Delft3D; Stratification; Simulation; Cartagena Bay

1. INTRODUCCIÓN

Los estuarios son “cuerpos de agua semi-cerrados, con conexión libre y abierta hacia el mar, y en el cual la dilución del agua del mar y el agua fresca del río, es medible” [p. 3]. Estos ecosistemas tienen características del río y del mar; entre las características de río está el flujo de agua, transporte de sedimentos, inundaciones ocasionales, y agua fresca en la superficie; las características típicas marinas son la marea, corrientes marinas, oleaje y agua salada [2], [3]. Determinar y predecir la descarga del río, la altura de marea, temperatura, salinidad, densidad, velocidad de corriente, y otros aspectos, en determinados instantes de tiempo y en un punto espacial o un conjunto de estos, es de importancia para comprender la hidrodinámica del ecosistema [4].

Los estuarios se pueden clasificar dependiendo de su forma, la influencia de la marea y del río, la geología, y la salinidad; esta última clasificación es de interés para el objetivo de esta investigación, según la cual los estuarios se clasifican en: i) estratificado, que ocurre cuando la descarga del río es mayor comparada con el flujo de la marea; ii) bien mezclado, cuando el flujo de la marea es mayor que la descarga del río; y iii) parcialmente mezclado, cuando ambas descargas son relativamente iguales, como se muestra en la Fig. 1 [4]. La determinación de la estratificación del ecosistema puede conllevar al desarrollo de nuevas tecnologías de generación de energía, como la *energía a partir de gradiente salino* (EGS), que puede ser obtenida de la mezcla de agua dulce del río y agua salada del mar en un ciclo hidrológico natural [1].

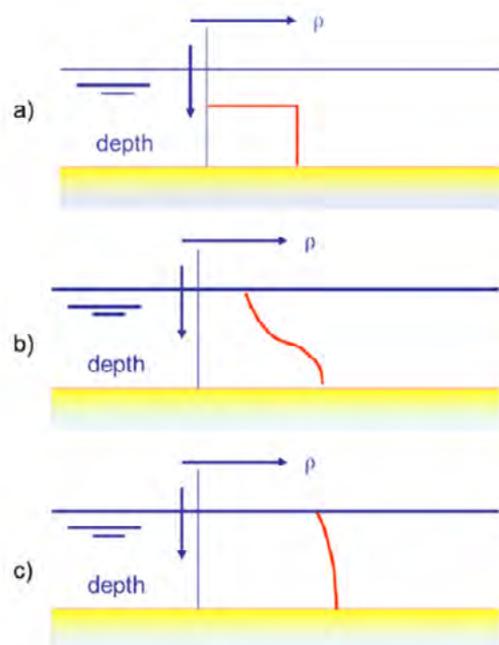


Fig. 1: Variación de la salinidad con respecto a la profundidad en un estuario; Estratificado (a), Parcialmente mezclado (b) y Bien mezclado (c). Fuente: (Savenije, 2005).

En la desembocadura del canal del Dique a la Bahía de Cartagena se han realizado algunas investigaciones con el fin de analizar sus características hidrodinámicas y sedimentológicas, a partir de una caracterización de variables meteomarinas como temperatura y salinidad en los procesos costeros circundantes [6], lo que despertó el interés de diversos actores en este cuerpo de agua y conllevó a los primeros estudios de circulación y transporte de contaminantes [7], considerando además la dependencia de los patrones de circulación dependientes de la temperatura [8]. Uno de los primeros modelos numéricos desarrollados y usados fue CODEGO; se usó para simular la circulación del canal El Zapatero. En el 2009 se realizó la primera simulación de la hidrodinámica de toda la Bahía de Cartagena, usando un modelo 2D [9]. Entre los estudios más recientes se encuentra la caracterización de las corrientes superficiales de la bahía de Cartagena, por medio de la calibración de un modelo hidrodinámico en el 2013 [10].

En la mayoría de los estudios se han analizado los patrones de dispersión del sedimento en la bahía, en uno de estos se determinó la relación que hay entre la

dispersión de la turbidez en el agua y la distribución de la salinidad [11]. Sin embargo, este estudio se basa únicamente en la caracterización de la estratificación salina en la desembocadura del canal a la bahía, lo que se puede realizar mediante modelos numéricos que consisten en una solución, en espacio y tiempo, de ecuaciones hidrodinámicas y/o de transporte de materia, a partir de información sobre variables ya conocidas [2].

El software de modelación numérica usado para analizar el comportamiento de la estructura salina fue Delft3D, el cual se centra en la modelación de entornos fluviales y costeros. Desarrollado por el Instituto Holandés de Asuntos Deltaicos Nacionales e Internacionales (Deltares) en el 2008, este simula flujos en dos y tres dimensiones, aplicando flujos no-estacionarios e integrando efectos de marea, viento, presión atmosférica, densidades que se dan por diferencia de temperatura y salinidad, oleaje y turbulencias. Este modelo numérico hidrodinámico resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en una malla curvilínea adaptada a la forma del ecosistema [12].

Área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Pasacaballos, al sur de la ciudad de Cartagena, entre las coordenadas $10^{\circ}16'57,50''$ y $10^{\circ}18'23,93''$ latitud norte y $75^{\circ}31'16,59''$ y $75^{\circ}32'11,11''$ longitud oeste, en el punto de la desembocadura del canal a la bahía de Cartagena, como se ve en la Fig. 2.

El canal del Dique fue creado artificialmente en 1952, tiene longitud de 115 km desde su desviación en el río Magdalena [13], [14], cuenta con un caudal máximo aproximado de $540 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual desemboca en la bahía de Cartagena, y su profundidad oscila entre 0,6 y 2,1 m [15]. Además, en la zona las condiciones de marea presentan amplitud de 16,76 cm en la bahía, con un periodo de aproximadamente 12 horas a un rango promedio de 33,5 cm [10], lo que la clasifica como un

régimen de marea micromareal. La dinámica de flujo en la bahía se presenta de la siguiente forma: el flujo de ingreso es a través del estrecho de Bocachica, y el flujo de salida por Bocagrande [2]. Desde el inicio, la influencia de las aguas del canal del Dique a la Bahía de Cartagena han causado cambios en el régimen natural del cuerpo de agua, convirtiéndola de un ecosistema coralino a un estuario y con una alta concentración de sólidos en suspensión, los que puede llegar a ser de 1.000 mg/L en la desembocadura del canal [11], [16].

2. METODOLOGÍA

La caracterización de la estratificación salina en la desembocadura del canal del Dique a la Bahía de Cartagena se realizó a través de la simulación numérica en el software Delft3D, en la que se modelaron los parámetros hidrodinámicos más influyentes sobre la estratificación salina como son: marea, caudal, temperatura, salinidad y viento. El modelo numérico se validó con información recolectada en campo por un punto de control instalado en el área de turbidez máxima, la cual es producida por la mezcla de los dos cuerpos de agua, en las coordenadas $10^{\circ}18'30,49''$ latitud norte y $75^{\circ}32'3,13''$ longitud oeste (Fig. 3, a).

En el punto de control se ubicaron dos sensores para recolectar datos de salinidad y de profundidad del agua, ambos instalados a 0,8 m de la superficie; un sensor HOBO U24-002-C para captar los datos de salinidad a una frecuencia de 30 segundos (Fig. 3, c); y para recolectar los datos de profundidad, un sensor DCX-25 PVDF con una frecuencia de 1 segundo (Fig. 3, b).

Para la aplicación del modelo numérico se determinaron actividades, entre las que están la determinación de las condiciones iniciales del área de estudio, la configuración del modelo teniendo en cuenta los datos recolectados en la primera etapa, la aplicación del modelo numérico, la obtención de los resultados y su validación; la Fig. 4 describe las actividades mencionadas anteriormente.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2950>

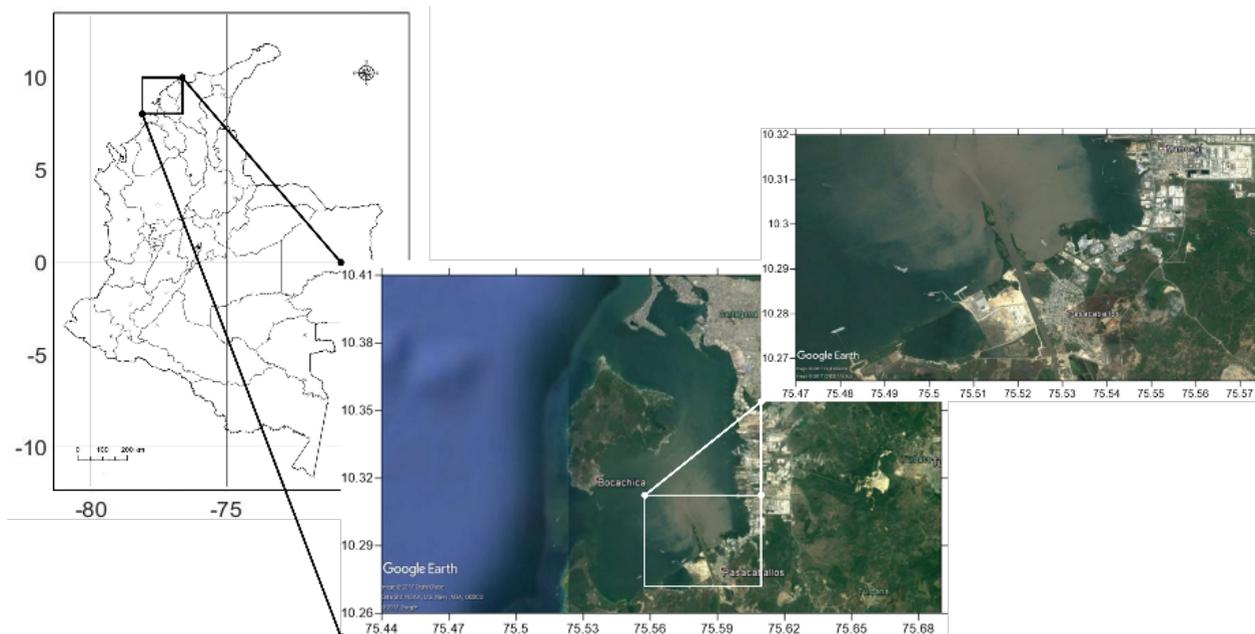


Fig. 2: Ubicación del área de estudio. Fuente: Google earth, modificado por los autores.

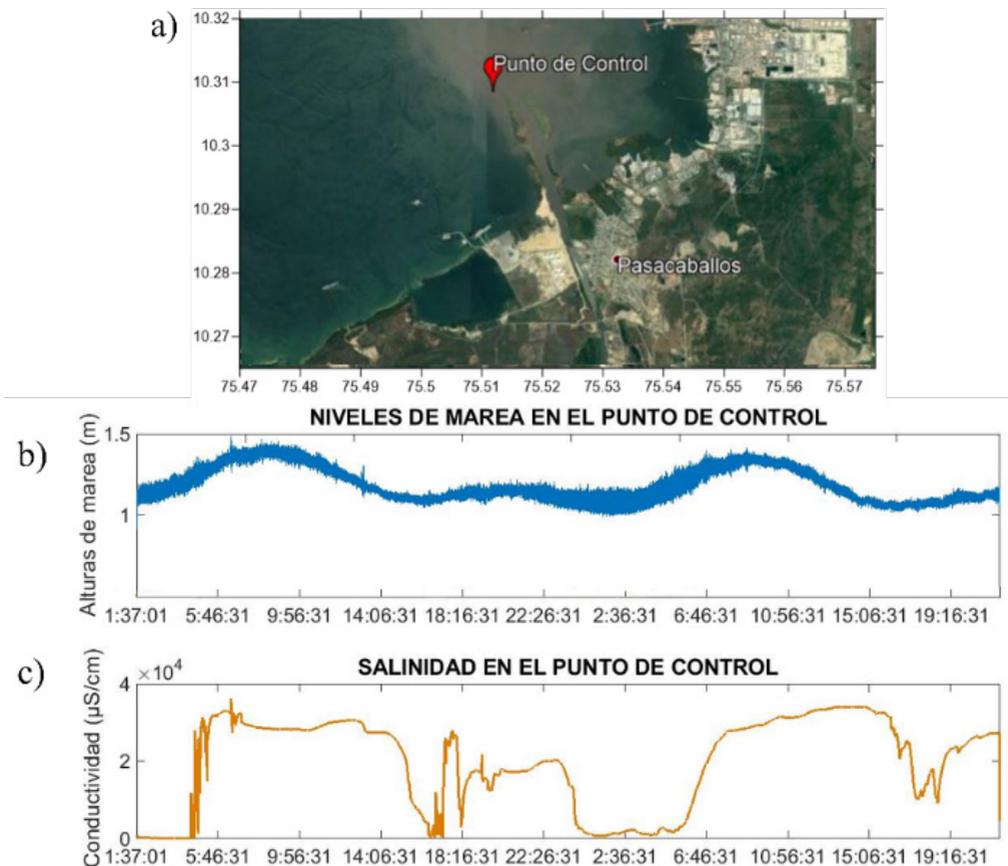


Fig. 3: a) Ubicación del punto de control en el área. b) Niveles de marea medidos. c) Salinidad medida. Fuente: a) Google Earth modificado por los autores.

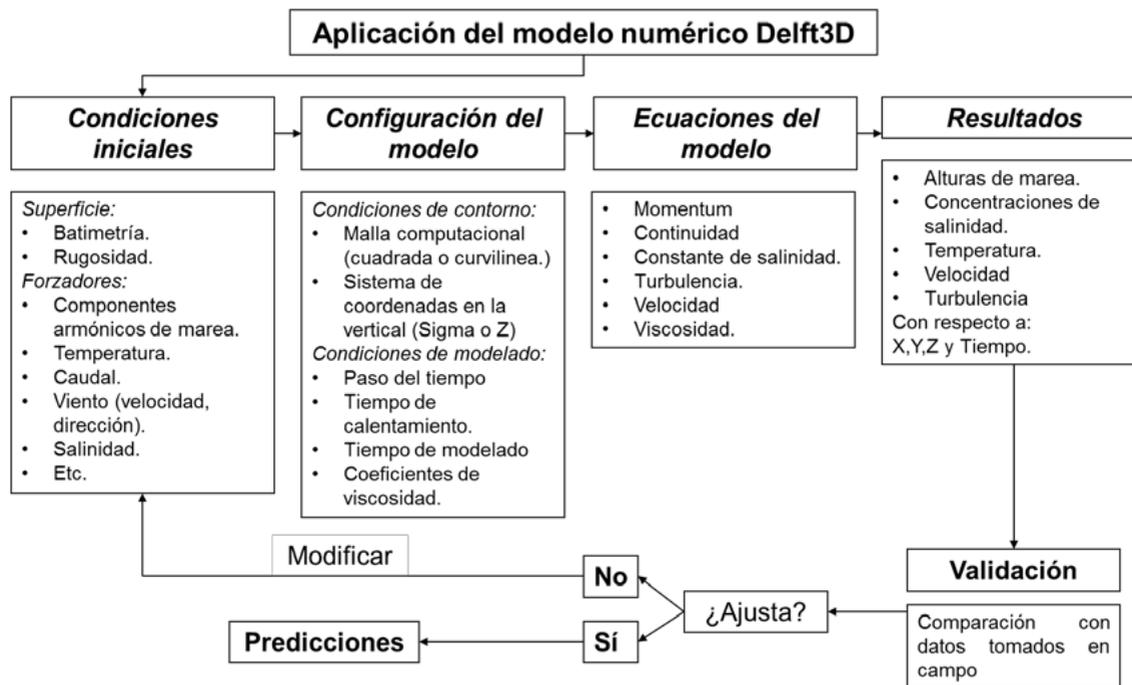


Fig. 4: Esquema de la aplicación del modelo numérico Delft3D.

Ecuaciones del modelo

Para la presión barotrópica de aguas poco profundas, las ecuaciones 3D se resuelven mediante una factorización tipo ADI [17]. La ecuación de la continuidad (1) linealizada por los flujos del paso del tiempo, para términos que contienen la velocidad en el plano vertical. En la ecuación, ξ representa el componente en el plano horizontal, $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ es el coeficiente de transformación de las coordenadas curvilíneas, y ξ representa el índice de fracción de sedimento.

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\sqrt{G_{\eta\eta}} H U \right)^{\xi+\frac{1}{2}} \approx \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\sqrt{G_{\eta\eta}} H^{\xi} U^{\xi+\frac{1}{2}} \right) \approx \frac{\left(\sqrt{G_{\eta\eta}} H^{\xi} U^{\xi+\frac{1}{2}} \right)_{m+\frac{1}{2},n} - \left(\sqrt{G_{\eta\eta}} H^{\xi} U^{\xi+\frac{1}{2}} \right)_{m-\frac{1}{2},n}}{\Delta \xi} \quad (1)$$

Los términos del momentum en el plano horizontal en una malla tipo Z están aproximados por diferentes métodos. Las discretizaciones de Explicit Multi-Directional Upwind (MDUE) y Implicit Multi-Directional Upwind (MDUI) [3]. La discretización del flujo con un componente U y V (que son velocidades horizontales promediadas en la vertical) positivos viene dada por

las ecuaciones (2) y (3), donde $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ y $\sqrt{G_{\xi\xi}}$, son los coeficientes de transformación de coordenadas curvilíneas, y m , n , y k representan los tres ejes (x, y, z).

$$\frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} \Big|_{m,n,k} = \begin{cases} \frac{u_{m,n,k}}{\left(\sqrt{G_{\eta\eta}}\right)_{m,n}} \left(\frac{u_{m,n-1,k} - u_{m-1,n-1,k}}{\Delta \xi} \right) \bar{v}_{m,n,k}^{\xi\eta} > u_{m,n,k} > 0 \\ \frac{u_{m,n,k}}{\left(\sqrt{G_{\eta\eta}}\right)_{m,n}} \left(\frac{u_{m,n,k} - u_{m-1,n,k}}{\Delta \xi} \right) u_{m,n,k} > \bar{v}_{m,n,k}^{\xi\eta} > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Y:

$$\frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} \Big|_{m,n,k} = \begin{cases} \frac{\bar{v}_{m,n,k}^{\xi\eta}}{\left(\sqrt{G_{\eta\eta}}\right)_{m,n}} \left(\frac{u_{m,n,k} - u_{m,n-1,k}}{\Delta \xi} \right) \bar{v}_{m,n,k}^{\xi\eta} > u_{m,n,k} > 0 \\ \frac{\bar{v}_{m,n,k}^{\xi\eta}}{\left(\sqrt{G_{\eta\eta}}\right)_{m,n}} \left(\frac{u_{m-1,n,k} - u_{m-1,n-1,k}}{\Delta \eta} \right) u_{m,n,k} > \bar{v}_{m,n,k}^{\xi\eta} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

En plano vertical, las capas adyacentes están acopladas por la advección vertical y el término de viscosidad vertical. En la dirección vertical, el término *eddy viscosity* en flujos estratificados la advección puede ser dominante porque el intercambio turbulento se reduce. Para esta se usa una diferencia central de segundo orden (4).

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2950>

$$w \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{m,n,k} = \bar{w}_{m,n,k} z \left[\frac{u_{m,n,k+1} - u_{m,n,k-1}}{\frac{1}{2} h_{m,n,k-1} + h_{m,n,k} + \frac{1}{2} h_{m,n,k+1}} \right] \quad (4)$$

Donde $h_{m,n,k}$ denota el espesor de la capa con el índice k definido por $h_{m,n,k} = z_k - z_{k-1}$.

Los términos de viscosidad vertical están discretizados por la ecuación (5).

$$\frac{\partial}{\partial z} v_y \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{m,n,k} = \frac{v_y |_{m,n,k+1}}{h_{m,n,k}} \left(\frac{u_{m,n,k+1} - u_{m,n,k}}{\frac{1}{2} (h_{m,n,k+1} + h_{m,n,k})} \right) \pm \frac{v_y |_{m,n,k}}{h_{m,n,k}} \left(\frac{u_{m,n,k} - u_{m,n,k-1}}{\frac{1}{2} (h_{m,n,k} + h_{m,n,k-1})} \right) \quad (5)$$

Donde el eddy viscosiy vertical se calcula en la interfaz de la capa.

Condiciones iniciales

Se tuvo en cuenta la descarga promedio del canal Del Dique en épocas: húmeda y seca, que tuvo una variación de caudales de 125 m³/s hasta 150 m³/s [16], respectivamente. En cuanto al forzador de marea, se localizaron tres fronteras abiertas con 10 componentes armónicos micromareales, correspondientes a la bahía de Cartagena (K1, M2, O1, P1, SSA, N2, S2, MF, Q1, NO1) [19], entre otros forzadores como la salinidad en 35 partes por mil (ppt) y temperatura en 27 °C en la bahía de Cartagena [4]. Por otra parte, se tomó la velocidad y dirección del viento promedio de 3.017 m/s y en dirección suroeste [10]. El tiempo de simulación se configuró de 65 días; de estos, los cinco primeros días son de estabilización del sistema, en los cuales los errores que se deben a aproximaciones se aminoran hasta lograr la estabilidad natural.

Dominios de cálculos

La bahía de Cartagena, en promedio, tiene una profundidad de 16 m, con profundidades máximas hasta de 30 m y mínimas de hasta más o menos 1 m, cerca de las orillas y en el sector de la desembocadura del canal del Dique, que cuenta con un ancho aproxima-

mente de 100 metros, y con profundidades que varían entre 1 a 3 m dentro del canal. En la Fig. 5 se muestra una batimetría de la zona.

Se construyó una malla de cálculo curvilínea en la horizontal, que se ajusta a la forma y los requerimientos para la simulación, la malla se conforma por un total de 122 por 102 celdas, con celdas de hasta 50 m en la desembocadura del canal (Fig. 6, a). En la vertical se usaron coordenadas Z; se discretizó en 40 capas distribuidas en porcentajes diferentes con respecto a la distancia en la vertical, con el fin de lograr el mayor número de capas en la desembocadura del canal, obteniendo una distribución de 0,20 m en las capas más superficiales y 25 m en las más profundas; sin embargo, en la desembocadura, la última capa es de 1.7 m, consiguiendo así un nivel de resolución óptimo en la vertical para la descripción de la estratificación (Fig. 6, b).

3. RESULTADOS

Validación

Para la validación del modelo hidrodinámico se tuvo presente la frecuencia de salida de los datos de la simulación, que es cada hora, por lo que se hizo necesario promediar los datos de salinidad y niveles del agua originales. En los resultados de profundidad se obtuvo una correlación de 97%, como se muestra en la Fig. 7, a pesar de que los datos simulados son con datos promedios. En general, los resultados de la simulación en la bahía obtuvieron niveles entre 0.01 a 0.28 m.

De modo similar, para las mediciones de salinidad en el punto de control en el canal del Dique se tiene una variación de 0 a 17 ppt, mientras que en la simulación se obtuvo una variación entre 3.25 y 17.34 ppt; sin embargo, se observa en la Fig. 8 una similitud en la variación de los datos. Debido a que las unidades de salinidad del sensor y de la simulación son diferentes, los datos fueron normalizados para su comparación.

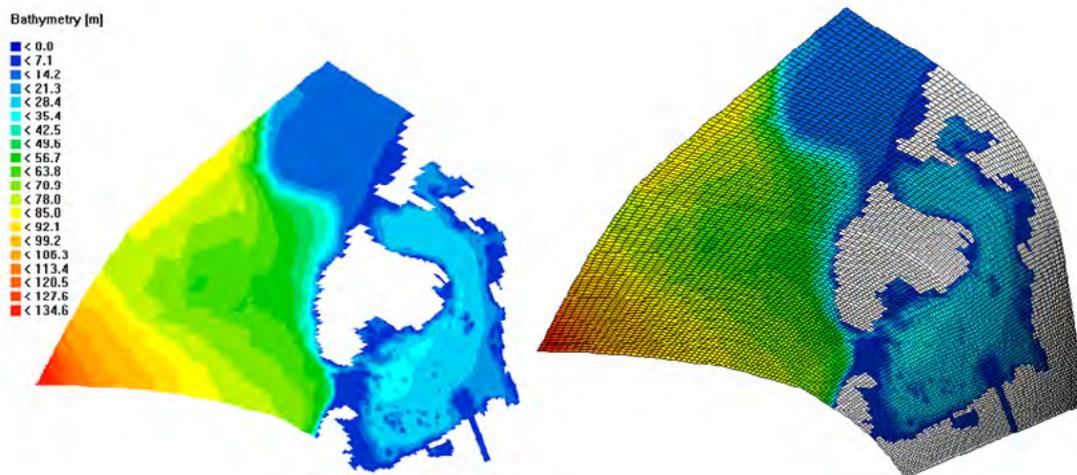


Fig. 5: Batimetría de la zona de simulación.

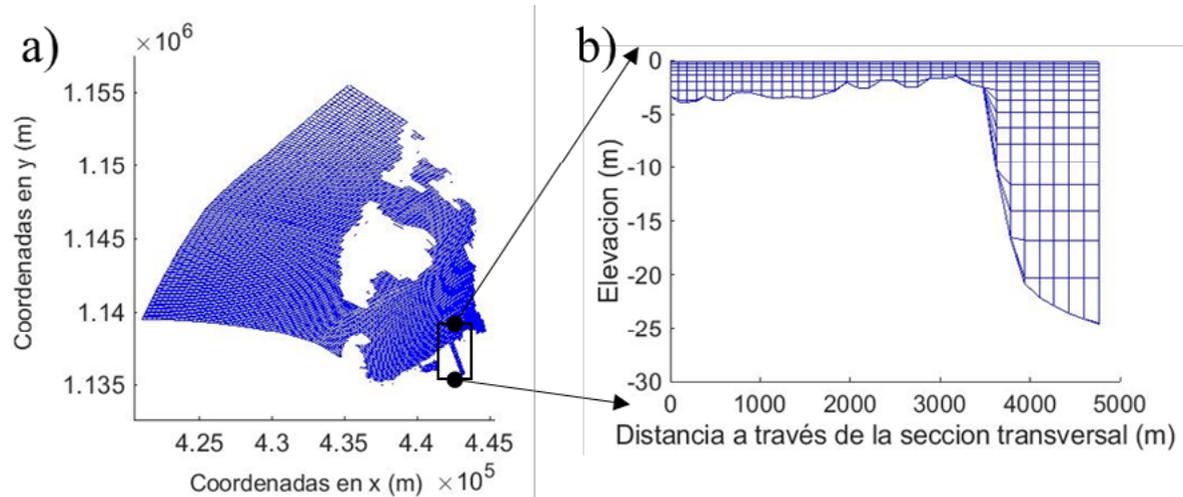


Fig. 6: a) Malla hidrodinámica en la horizontal. b) Malla hidrodinámica en la vertical.

Simulación

La simulación se realizó durante 65 días, en este periodo de tiempo la estabilidad del modelo se logra cuando la variación en la turbulencia es mínima; dicho estado se alcanza durante los 2 a 5 primeros días de simulación del modelo, como se observa en la Fig. 9. Las variaciones u oscilaciones que se observan corresponden a lo generado por los cambios inducidos por el régimen de la marea.

En la Fig. 10a se observa la distribución de la salinidad en la bahía de Cartagena, teniendo en cuenta las condiciones de viento y caudal promedio correspondiente a la época húmeda. La Fig. 10b es una vista de las capas inferiores de aproximadamente un metro de profundidad, que demuestra que el agua proveniente del canal del Dique se encuentra mayormente en las capas más superficiales. El flujo del canal, entre otras cosas, determina la dispersión de la salinidad en la bahía, pero esta también se ve influenciada por el viento, notando como la salinidad se distribuye en mayor parte hacia la salida por Bocagrande, como se muestra en la Fig. 10a.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2950>

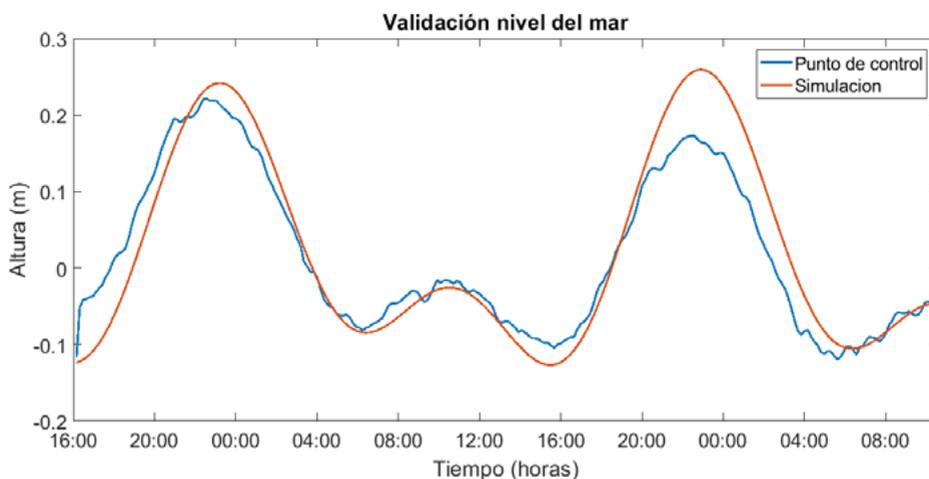


Fig. 7: Validación de marea con el punto de control.

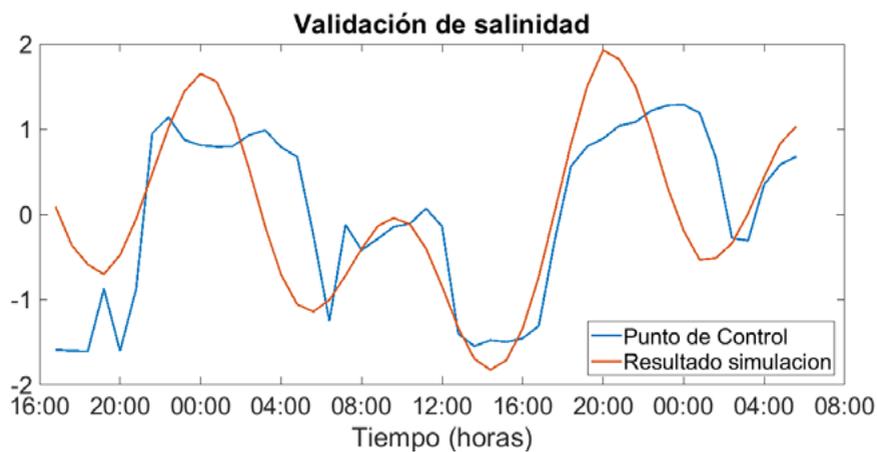


Fig. 8: Validación de salinidad con el punto de control.

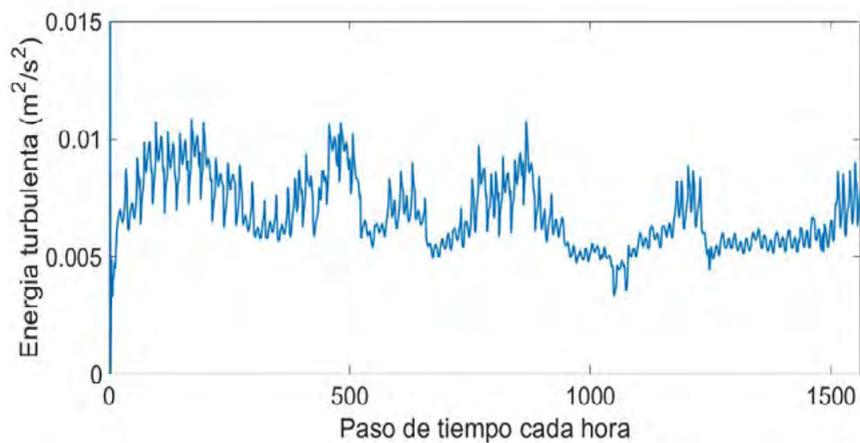


Fig. 9: Variación de la turbulencia.

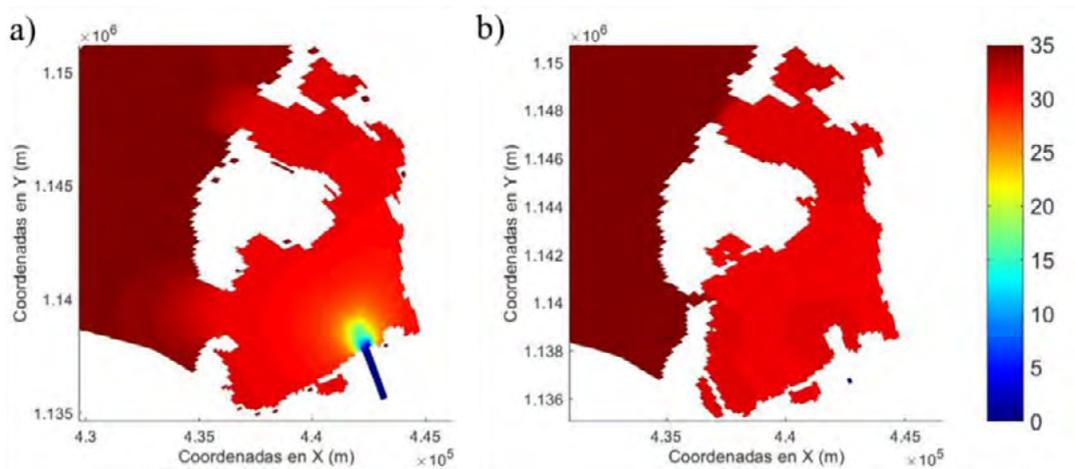


Fig. 10: a) Distribución de salinidad en la superficie. b) Distribución de salinidad a un metro de profundidad.

En cuanto a la salinidad en la desembocadura del canal del Dique, aunque en la superficie se encuentren las salinidades más bajas, debajo de esta se ve la intrusión del agua proveniente de la bahía, aproximadamente 1.2 km hacia dentro del canal, en las condiciones de simulación, evidenciando la estratificación de los flujos con diferente densidad dadas por la salinidad.

Los resultados de la Fig. 11b, que corresponden específicamente al punto de la desembocadura del canal a la bahía, muestran que la dispersión de la salinidad en la vertical es estratificada, esto se da por la diferencia de densidades entre el agua dulce y el agua salada, lo que causa que el agua dulce menos densa se encuentre en la capa superior. También se podría afirmar, de acuerdo con [11, p. 85], que la pluma turbia está asociada a la distribución de la salinidad debido a las mediciones realizadas, que mostraron una alta correlación entre estos parámetros [11, p. 85], y que la concentración del agua dulce en la desembocadura del canal determina la dinámica de la sedimentación en este punto.

La estratificación en la desembocadura puede presentar variaciones que se atribuyen, principalmente, al aporte de agua dulce del canal del Dique, en las épocas seca, de transición y húmeda que se presentan en la

región. Con respecto a los datos simulados en este trabajo, la dinámica de la estratificación se presenta en la Fig. 12, donde se muestran las isohalinas de 20 ppt con respecto a los caudales bajos, promedio y máximos en la simulación.

4. DISCUSIÓN

El modelo hidrodinámico Delft3D ha sido ampliamente usado en el ámbito mundial para el estudio de estos tipos de sistemas [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], mostrando su robustez desde condiciones promedio o típicas, hasta eventos extremos, lo que se confirma con los resultados del presente trabajo, que muestran un porcentaje de correlación alto 97% con respecto a las variables de salinidad y niveles de marea. Entre los estudios internacionales en los que se ha usado este software, se encuentra [27] en el estuario de Yangtsé en China, en donde se analizó la interacción flujo-sedimento en los perfiles verticales dentro de la zona de máxima turbidez (TMZ), obteniendo además las corrientes verticales y cómo estas afectan la intrusión salina mediante el modelo hidrodinámico Delft3D.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2950>

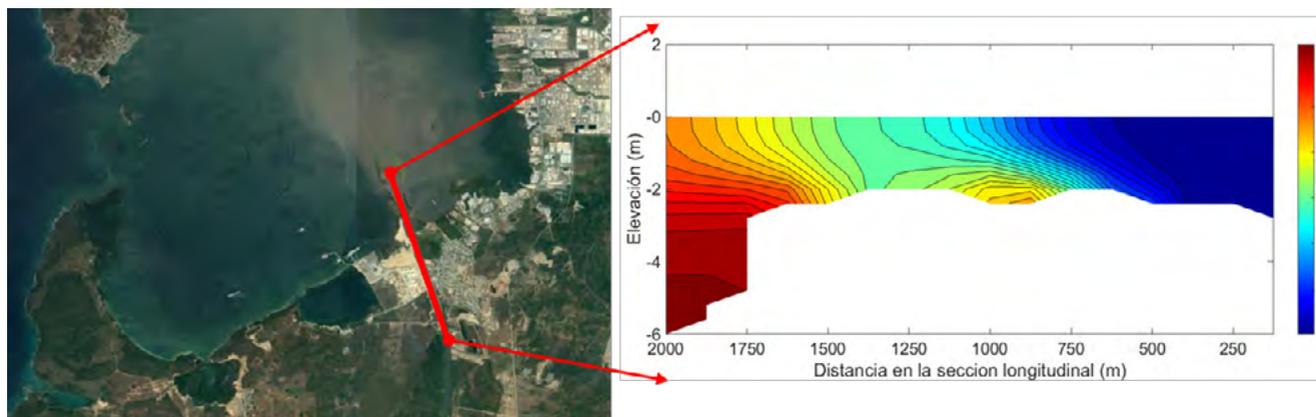


Fig. 11: a) Ubicación de la sección transversal en el área de estudio. b) Distribución de salinidad en la vertical.

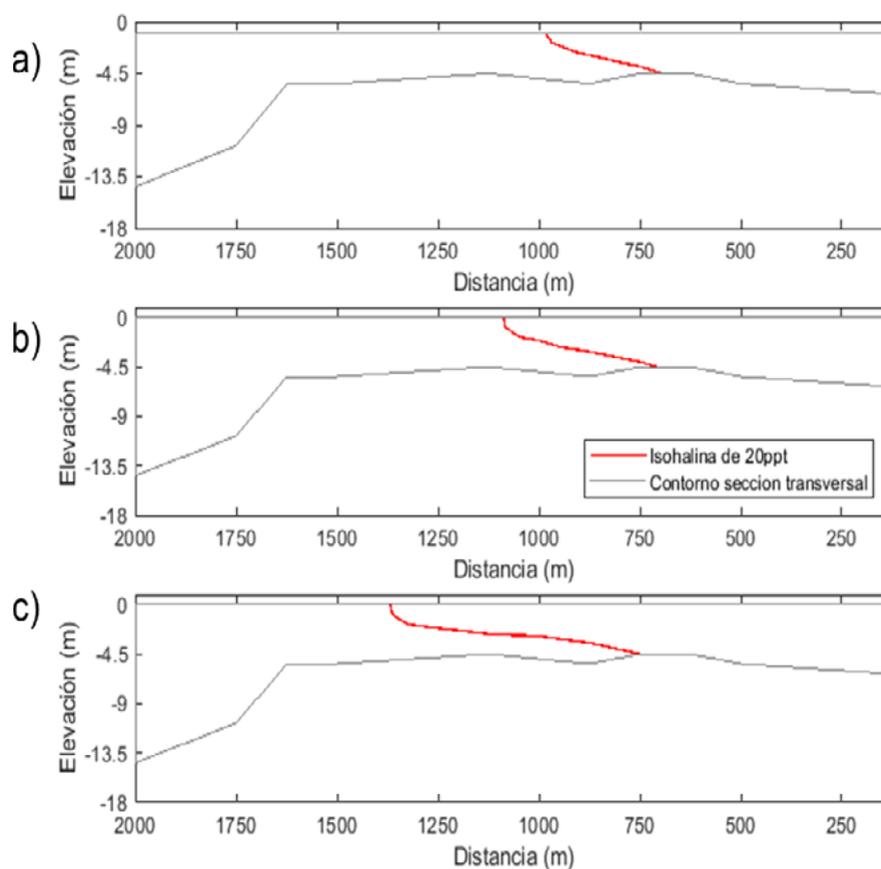


Fig. 12: Isohalina 20 ppt a diferentes caudales. a) Caudal bajo. b) Caudal promedio. c) Caudal máximo.

Son pocos los estudios que se han basado en los patrones de salinidad de la desembocadura del canal del Dique. No obstante, [11, p. 87] presenta la relación de la salinidad basada en lo obtenido con respecto a los patrones de turbidez en la bahía, resultados que se atribuyen a la magnitud del caudal del canal del Dique, que produce un efecto de flotación en la capa superior de las aguas, concordando con los datos derivados de esta investigación con respecto a la estratificación en la desembocadura.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determinó la estratificación en la desembocadura del canal como se muestra en la Fig. 12, además está dada por la predominancia del caudal del canal, teniendo en cuenta que se simuló bajo condiciones promedio, considerando los picos de mínimos y máximos caudales; en comparación con el régimen de la micromareal de la bahía. Esta condición se considera importante para llevar a cabo la cuantificación de la estratificación y en futuras investigaciones determinar el potencial de la zona para la producción de energía a partir de gradiente salino (EGS). El uso de modelos numéricos como Delft3D son útiles debido a su capacidad de recrear y predecir bajo condiciones dadas, la hidrodinámica que se presente en ecosistemas estuarinos como la desembocadura del canal del Dique a la bahía de Cartagena, sin embargo, un criterio de selección de modelos sería fundamental para la escogencia del más adecuado a las condiciones presentes, tanto geográficas, meteomarinas e hidrodinámicas, propias del estuario del canal del Dique a la Bahía de Cartagena.

REFERENCIAS

- [1] D. Prichard, "What is an estuary?: physical viewpoint in: Estuaries" *American Association for the Advancement of Science*, pp. 3-5, 1967.
- [2] S. Farreras, *Hidrodinámica de Lagunas Costeras*, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 2006.
- [3] K. Dyer, *Estuaries, a physical introduction*, West Sussex: WILEY, 1997.
- [4] H. Savenije, *Salinity and Tides in Alluvial Estuaries*, Amsterdam: ELSERVIER, 2005.
- [5] N. Yin Yip, D. Brogioli, H. V. M. Hamelers and K. Nijmeijer, "Salinity Gradients for Sustainable Energy: Primer, Progress, and Prospects", *Environmental Science & Technology*, vol. 50, no. 22, pp. 12072-12094. DOI: 10.1021/acs.est.6b03448
- [6] J. Pagliardini, G. M., T. Gutiérrez, D. Zapata, A. Jurado, J. Garay and G. Verenette, "Síntesis del proyecto Bahía de Cartagena", *Boletín Científico CIOH*, vol. 4, no. 4, pp. 49-110, 1982. Recuperado de http://cecoldodigital.dimar.mil.co/92/1/dimarcioh_1982_boletincioh_04_49-110.pdf
- [7] S. Lonin, "Circulación de las aguas y transporte de contaminantes en la Bahía de Cartagena", *Boletín Científico CIOH*, no. 16, pp. 25-56, 1995. Recuperado de http://cecoldodigital.dimar.mil.co/150/1/dimarcioh_1995_boletincioh_16_25-56.pdf
- [8] S. Lonin y L. Giraldo, "Influencia de los efectos térmicos en la circulación de la bahía interna de Cartagena", *Boletín Científico CIOH*, no. 17, pp. 47-56, 1997. Recuperado de http://cecoldodigital.dimar.mil.co/157/1/dimarcioh_1996_boletincioh_17_47-56.pdf
- [9] A. De Lisa, "Estudio de la hidrodinámica y renovación de las aguas del caño del Zapatero", trabajo de grado, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" (ENAP), 2003.
- [10] J. G. Rueda Bayona, L. J. Otero Díaz, y J. O Pierini, "Caracterización hidrodinámica en un estuario tropical de Suramérica con régimen micromareal mixto", *Boletín Científico CIOH*, vol. 31, pp. 159-174, 2013.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2950>

- [11] S. Lonin, C. Parra Llanos, C. A. Andrade Amaya y Y. F. Thomas, "Patrones de pluma turbia del canal del Dique en la bahía de Cartagena", *Boletín Científico CIOH*, no. 22, pp. 77-89, 2004.
- [12] Deltares, Delft3D-FLOW, User Manual, Netherland: Deltares, 2014.
- [13] L. Marriaga y J. Echeverry, "Análisis de la evolución del fondo marino y cambios en la línea de costa, en el área de influencia de la desembocadura del Canal del Dique", *Boletín Científico CIOH*, pp. 158-178, 2011.
- [14] A. Gómez Giraldo, A. F. Osorio Arias, F. M. Toro, J. D. Osorio Cano y O. A. Álvarez, "Efecto del cambio de los caudales del Canal del Dique sobre el patrón de transporte horizontal en la bahía de Barba-coas", *Boletín Científico CIOH*, no. 27, pp. 90-111, 2009.
- [15] C. H. Grisales López, J. A. Salgado Mesa y R. J. Morales Babra, "Proceso de intercambio de masas de agua de la bahía de Cartagena (Caribe colombiano) basado en la medición de parámetros oceanográficos", *Boletín Científico CIOH*, no. 32, pp. 47-70, 2014.
- [16] R. Morales y M. Mestres, "Efectos de la descarga estacional del Canal del Dique en el mecanismo de intercambio de aguas de una bahía semicerrada y micromareal: Bahía de Cartagena, Colombia", *Boletín Científico CIOH*, pp. 53-74, 2012. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.243>
- [17] G. S. Stelling, *On the construction of computational methods for shallow water flow problems*, Holanda: Institutional Repository, 1983.
- [18] J. C. Eijkeren, B. J. de Haan, G. S. Stelling and T. L. van Stijn, "Notes on Numerical Fluid Mechanics, Linear upwind biased methods", *Numerical Methods for Advection-Diffusion Problems*, vol. 45, pp. 55-91, 1993.
- [19] R. Morales, "Clasificación e identificación de los componentes de marea del Caribe colombiano", *Boletín Científico CIOH*, no. 22, pp. 105-114, 2004.
- [20] V. Ramos, R. Caraballo and J. V. Ringwood, "Application of the actuator disc theory of Delft3D-FLOW to model far-field hydrodynamic impacts of tidal turbines", *Renewable Energy*, vol. 139, pp. 1320-1335, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.094>
- [21] S. Waldman, S. Bastón, R. Nimalidinne, A. Chatziodou, V. Venugopal and J. Side, "Implementation of tidal turbines in MIKE 3 and Delft3D models of Pentland Firth & Orkney Waters", *Ocen & Coastal Management*, vol. 147, pp. 21-36, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.015>
- [22] A. Rhaman and V. Venugopal, "Parametric analysis of three dimensional flow models applied to tidal energy sites in Scotland" *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 189, pp. 17-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.02.027>
- [23] M. Des, M. de Castro, M. Sousa, J. M. Dias and M. Gómez-Gesteira, "Hydrodynamics of river plume intrusion into an adjacent estuary: The Minho River and Ria de Vigo", *Journal of Marine Systems*, vol. 189, pp. 87-97, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.10.003>
- [24] W. van Gerwen, B. Borsje, J. Damveld and S. Hulscher, "Modelling the effect of suspended load transport and tidal asymmetry on the equilibrium tidal sand wave height", *Coastal Engineering*, vol. 136, pp. 56-64, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.01.006>
- [25] K. Hu, Q. Chen, H. Wang, E. K. Hartig and P. M. Orton, "Numerical modeling of salt marsh morphological change induced by Hurricane Sandy", *Coastal Engineering*, vol. 132, pp. 63-81, 2018. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378383917300327>

- [26] U. Besr, M. Van de Wengen, J. Dijkstra, P.W.J.M. Willems, B. W. Borsje and D. J. A. Roelvink, "Do salt marshes survive sea level rise? Modelling wave action, morphodynamics and vegetation dynamics", *Environmental Modelling & Software*, vol. 109, pp. 152-166, 2018.
- [27] Y. Wan and L. Wang, "Numerical investigation of the factors influencing the vertical profiles of current, salinity and SSC within a turbidity maximum zone" *International Journal of Sediment Research*, vol. 32, no. 1, pp. 20-33, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2016.07.003>
- [28] C. I. Vargas, N. Vaz and J. M. Dias, "An evaluation of climate change effects in estuarine salinity patterns: Application to Rias de Aveiro shallow water system", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 189, pp. 33-45, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.03.001>
- [29] S. Orseau, S. Lesourd, N. Huybrechts and A. Gardel, "Hydro-sedimentary processes of a shallow tropical estuary under Amazon influence. The Mahury Estuary, French Guiana", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 189, pp 252-266, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.01.011>

Manejo de residuos de construcción y demolición en el municipio Guamo, Tolima

Construction and demolition waste in Guamo municipality, Tolima

Sandra Pinzón Galvis*
Fredy Geney Cortes Montealegre**

(Recibido el 12-09-2018. Aprobado el 05-12-2018)

Estilo de citación de artículo:

S. Pinzón Galvis, y F. G. Cortes Montealegre, "Manejo de residuos de construcción y demolición en el municipio de Guamo, Tolima, 2018, *Lámpsakos*, (21), pp. 65-74. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2930>

Resumen.

El municipio de Guamo, ubicado en el departamento de Tolima, se encuentra localizado según coordenadas a 4°.02' de latitud norte y 74°.58' de longitud oeste; a una altura sobre el nivel del mar (asnm) de 321 metros y con una población aproximada de 31866 habitantes [1].

Al igual que la totalidad del territorio colombiano, este municipio debe responder a la normatividad establecida como marco jurídico para el desarrollo de la cotidianidad del ciudadano y las relaciones que establece entre sí y con su entorno natural. La resolución 472 de 28 de febrero de 2017, emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, aplica para todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan residuos de construcción y demolición (RCD) de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional, al igual que brinda lineamientos para el aprovechamiento y disposición final de los mismos [2].

Con base en los principios regulativos contenidos en este acuerdo, se estructura un instrumento para ser respondido por los encargados de las obras de construcción, con la finalidad de identificar las prácticas con las cuales se manejan los RCD, información que podrá ser incorporada en programas educativos que permitan crear una cultura ambiental en torno a las actividades constructivas en procura de alcanzar un entorno sustentable.

Palabras clave: Sustentabilidad; Reutilización; Economía circular; Residuos; Generador de RCD; Gestión integral de RCD; PGIRS; Construcción; Demolición; Medio ambiente.

* Magister en Gestión Urbana, Especialista en Gestión Universitaria, Institución de Educación Superior ITFIP, Espinal-Colombia, Correo electrónico: spinzon97@itfip.edu.co

** Especialista Institución de Educación Superior ITFIP, Espinal-Colombia, Correo electrónico: fcortes79@itfip.edu.co

Abstract.

Guamo municipality is located in the department of Tolima, it is located on coordinates at 4 ° .02' north latitude and 74 ° .58' west longitude; at a height above sea level (asnm) of 321 meters and with an approximate population of 31866 inhabitants [1].

This municipality must respond to the regulations established as a legal framework for the development of the daily life of the citizen and the relationships established among themselves and their natural environment. Resolution 472 of February 28, 2017, delivered by the Ministry of the Environment and Sustainable Development, applies to all natural and general public that produce, collect, transport, store, benefit and dispose of construction and demolition waste (RCD) from civil works or other related activities in the national territory, as well as providing guidelines for the use and final disposals [2].

Based on the regulative principles enclosed in this agreement, an instrument is structured to be answered by those in charge of the construction works, in order to identify the practices concerning the use RCD, information that may be incorporated into educational programs that allow creating an environmental culture around constructive activities in order to accomplish a sustainable environment.

Keywords: Sustainability; Reuse Circular economy; Waste; RCD generator; Comprehensive management of RCD; PGIRS; Building; Demolition; Environment .

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2930>

1. INTRODUCCION

La economía circular se ha convertido en un ideal de producción que establece una relación concomitante entre rendimientos económicos y protección del medio ambiente, en busca de un desarrollo sustentable a partir de la circularidad de los procesos y materias primas, para crear la seguridad de que generaciones futuras contarán con los recursos necesarios para garantizar condiciones de vida apropiadas [3].

Cuatro dimensiones sustentan el concepto de desarrollo sostenible: en primer lugar, se considera la sostenibilidad económica como soporte de la sostenibilidad social, dependiendo las dos anteriores de la sostenibilidad ambiental desarrollada en un periodo de tiempo ideal [4].

En la actualidad, la sociedad en general busca en todos los ámbitos construir un flujo cíclico en el que los conceptos de reducir, reusar y reciclar se constituyan en principios básicos; desde la concepción del proceso de construcción de obra es necesario incorporar prácticas que prevengan, mitiguen y reparen su impacto sobre el medio natural. En el país se producen más de 22 millones de toneladas de residuos de construcción. Según estudios realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el 2011 se produjeron en las ciudades de Bogotá, Medellín, Santiago de Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Neiva, Valledupar y San Andrés, 22.270.338 toneladas de residuos de construcción y demolición.

La Resolución 472 de 28 de febrero de 2017 aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan RCD de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional [5].

Sin embargo, más allá de establecer marcos jurídicos, el desarrollo de estas prácticas tiene un amplio componente cultural en el cual deben estar involucrados los diversos actores que intervienen en la ejecución del proyecto constructivo desde el momento del diseño hasta su conclusión; el manejo de residuos de construcción y demolición debe conocerse como eje

fundamental para sustentar el desarrollo de una economía circular aplicada a la actividad constructiva, en busca de lograr un desarrollo regional sustentable [6].

2. MARCO TEÓRICO

Economía ambiental

La necesidad de responder a los requerimientos de la humanidad se traduce en una presión constante sobre los bienes ambientales; sin embargo, en términos económicos, la contabilización de los efectos sobre el medio ambiente es una limitación que impide verificar los costos que trae consigo el continuo detrimento de los recursos naturales; debido a las características propias de este tipo de bienes es imposible que el mercado suministre información pertinente que regule el uso de estos recursos; es responsabilidad del Estado establecer políticas que permitan aumentar el número de productos por unidades de recursos naturales empleados, minimizando su uso para la generación de bienes y servicios, lo cual conlleva a un desarrollo sustentable.

La tasa de sustentabilidad de los recursos naturales depende de tres aspectos: reservas existentes, niveles de consumo y ritmo de remplazo [7].

La economía ecológica se articula a principios biofísicos fundamentales:

- Ley de termodinámica, siendo la generación de residuos inherente a procesos de producción y posterior consumo.
- Ley de entropía, la materia y la energía se degradan continua e inexorablemente de una forma disponible a una no disponible, o de una forma ordenada a una desordenada.

- Imposibilidad de generar más residuos que la capacidad de almacenamiento de los ecosistemas; y la imposibilidad de extraer de los sistemas biológicos más de su capacidad de regeneración o de sustentabilidad.

En conclusión, el ser humano no utiliza recursos naturales de forma aislada a medida que el sistema socioeconómico se desarrolla y modifica los sistemas biológicos, de ahí la necesidad de desarrollar una economía ambiental que comprenda la totalidad de factores involucrados en las crisis ambientales y sus posibles soluciones [8].

La construcción de edificaciones y el medio ambiente

La vivienda se considera una necesidad básica, vital y cultural del ser humano; responder a esta necesidad conlleva una continua transformación y uso de recursos naturales, siendo inevitable que esta intervención genere una pérdida irreversible del patrimonio natural. El impacto causado por la edificación proviene de su construcción, su uso y su demolición, sin embargo, esta actividad tiene como particularidad la posibilidad de incorporar en los materiales residuos propios y de otras industrias, posibilitando un proceso sustentable [9].

La industria de la construcción se reporta como la mayor consumidora de energía [10] y la segunda que más requiere materia prima [11]; una gran proporción de los materiales empleados en las construcciones civiles se convierten en desecho en algún momento de las etapas que se desarrollan, para lograr la culminación del proyecto. Dadas las características de dichos materiales, estos son un problema de difícil manejo que perdura en el entorno por un largo tiempo, causando detrimento del medio ambiente.

En el desarrollo de las actividades constructivas se presentan dos situaciones que afectan el entorno:

- Explotación intensiva e indiscriminada de recursos naturales que no pueden ser producidos, regenerados o reutilizados en una magnitud que pueda ser sustentable su tasa de consumo.
- Generación de RCD con su inadecuada disposición y su inexistente gestión.

Los materiales más usados en la historia de la construcción han sido: la tierra, la madera, el concreto, el acero y el vidrio; excepto los dos primeros, los restantes son producto de procesos industriales cuya base son materias primas no renovables [12].

Al desarrollarse una construcción se generan los primeros residuos de obra, posteriormente se producen los siguientes tipos de residuos que son considerados como inertes y pétreos:

- Restos de concreto
- Restos de ladrillo y mortero de pega
- Restos de material cerámico
- Restos de tuberías plásticas
- Madera
- Empaques de materiales

Los dos primeros prevalecen en el país. En demolición de estructuras antiguas o que sufren daños irreparables se generan residuos de características variadas como los anteriores, pero igualmente se producen tejas, fibro-cemento, aluminio, morteros de revoque, residuos de baldosas, PVC y partes eléctricas; muchos materiales de este tipo tienen alta probabilidad de ser nuevamente empleados, previo manejo adecuado de los mismos.

El reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) es una práctica relevante en países desarrollados. En Colombia, a pesar que el sector de la construcción tiene un peso alto en el PIB, es un tema

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2930>

novedoso sobre el cual se ha legislado ampliamente, no obstante, en la práctica existen muchos vacíos para alcanzar una gestión total y adecuada de RCD, y el marco de aplicación de esta legislación pierde pertinencia al contemplar aspectos que requieren infraestructura y tecnología especial de poca disponibilidad en el país.

En general, la problemática de los RCD es similar en las ciudades colombianas, no obstante está en función del número de habitantes de cada región, siendo más crítica en ciudades que superan 2 millones de pobladores como Bogotá, Cali y Medellín. Empero, esta situación se presenta cada vez en forma más notoria en localidades más pequeñas; dado el crecimiento de las actividades constructivas, ciudades como Cartagena e Ibagué producen anualmente alrededor de 500.000 metros cúbicos de RCD, cuya disposición final se hace en su gran mayoría en sitios no autorizados. La solución está supeditada a labores de reutilización de este tipo de materiales que brinde la posibilidad de que las escombreras tengan una vida útil más larga, al no exceder su capacidad de uso [13].

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el método cuantitativo, el cual tiene como objetivo obtener respuestas de la población a preguntas específicas.

Se estableció como unidad de análisis para el presente estudio cada uno de los proyectos constructivos inscritos ante la Oficina de Planeación Municipal del Guamo, Tolima. Como instrumento de recolección de información de campo, se estructura una encuesta que permite establecer el manejo de RCD a partir de la medición del comportamiento lineal de variables (temporal y espacialmente); dicho instrumento se estructura en tres categorías: tipos de residuos (construcción o demolición), prácticas de manejo, disposición final, teniendo en cuenta los parámetros contemplados en el acuerdo 472 de 28 de febrero de 2017. Dicho instrumento permite identificar las prácticas de manejo de RCD.

4. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los resultados de la aplicación del instrumento se procesan y analizan, con el fin de ser contrastados con el estado del arte del tema y la experiencia de expertos, para responder a la problemática planteada. La gestión de datos obtenidos se emplea con Microsoft Excel elaborándose tablas de frecuencia de todas las variables predeterminadas.

Análisis y discusión

Al aplicar el instrumento en 27 proyectos de construcción inscritos en la Oficina de Planeación del municipio del Guamo, se identifican las prácticas realizadas en el manejo de los RCD.

En lo referente a reconocer la diferencia entre diversos tipos de residuos que se producen en el proceso de construcción y demolición (Fig. 1), el 70.37% de los indagados responden que sí, el 29.63% responden que no. Para efectos de reutilización de RCD, este conocimiento es básico porque sustenta la posibilidad del empleo posterior de este tipo de materiales, sin embargo este saber es elemental y se refiere a características muy generales.

La Fig. 2, basada en las respuestas al instrumento, demuestran que en orden descendente los residuos que más se generan en cada momento del proyecto constructivo son: etapa constructiva, instalaciones, excavación, demolición, acabados y limpieza.

La información obtenida en campo demuestra que los residuos del proceso eléctrico que se generan al momento de ser demolida la construcción son los materiales que tienen mayor tendencia a ser clasificados; en orden descendente le siguen molduras, puertas y ventanas y materiales empleados en la estructura de la edificación, tal como lo muestra la Fig. 3.

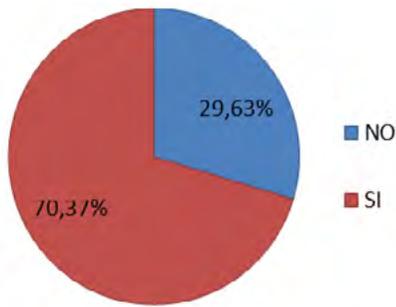


Fig. 1: Reconocimiento de la diferencia entre los diversos tipos de residuos que se producen en el proceso de construcción.



Fig. 2: Etapa del proyecto de construcción en la que se generan más residuos.

Al ser interrogados los responsables de las obras sobre el aprovechamiento del material proveniente de otra obra, un alto porcentaje responde que no; situación que indica la baja capacidad de reutilizar RCD, lo cual representa que este tipo de materiales son depositados en el entorno causando detrimento del mismo (Fig. 4).



Fig. 3: Clasificación de materiales provenientes del proceso de demolición.

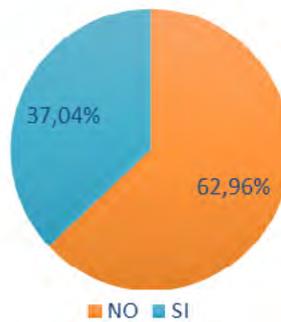


Fig. 4: Aprovechamiento material proveniente de otra obra.

Las respuestas acerca del depósito de residuos peligrosos en lugares determinados especiales para ello, se evidencian en la Fig. 5, la cual muestra que la mayoría de indagados responden que sí lo hacen; sin embargo, en la práctica no existen sitios destinados como depósito final de estos materiales y al ser indagados sobre la reutilización de envases de pintura, la mayoría expresan que sí lo hacen (el estudio no discrimina sobre el manejo dado según tipo de pintura).

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2930>

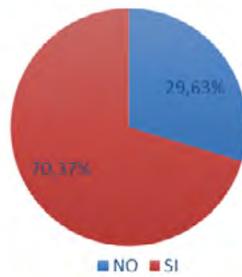


Fig. 5: Depósito de los residuos peligrosos en un lugar determinado.

En la Fig. 6 se observa que la mayoría de indagados responde que no adquiere productos bajo criterios ecológicos, tampoco en la zona existe oferta de este tipo de productos.

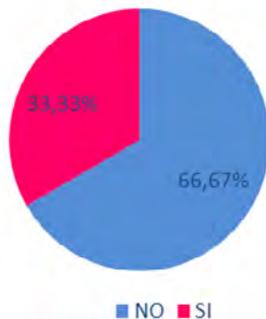


Fig. 6: Aplicación de criterios ecológicos en la compra de materiales de obra.

Por lo que se refiere a la información que debe ser transmitida a los obreros sobre normas de seguridad y almacenamiento de RCD, las respuestas demuestran que, si bien es suministrada, su rango de aplicación es bajo, puesto que al ser indagados sobre el conocimiento de la normatividad un alto porcentaje expresa que no la conoce (Fig. 7 y 8).

Con respecto al conocimiento sobre el depósito final de RCD, las respuestas positivas y negativas se expresan casi en forma equitativa; es de anotar que en la zona no existe un sitio como escombrera en el que se dé disposición final a este tipo de materiales (Fig. 10).

En cuanto al proceso de demolición selectiva, no es realizado por la mayoría de los responsables de la ejecución de obras de construcción, ello limita en gran medida su posterior empleo (Fig. 9).

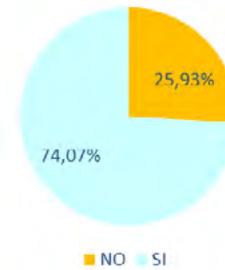


Fig. 7: Información a los obreros sobre las normas de seguridad en manipulado, transporte correcto y almacenamiento de residuos de construcción y demolición.

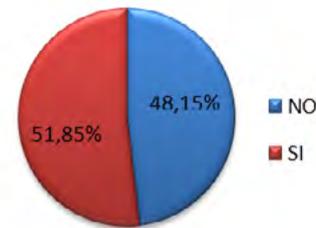


Fig. 8: Conoce la normatividad para el manejo de residuos de construcción y demolición.

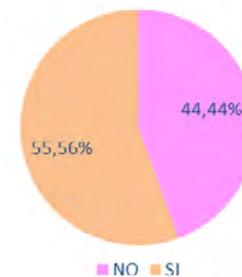


Fig. 9: Realización de demolición selectiva.

En las siguientes figuras (11 y 12) se representa lo indagado sobre el cálculo de materiales para obra y los residuos a producir en el proceso de construcción; en las respuestas se refleja que una tercera parte de los indagados no calculan cantidades de materiales a emplear, esta situación necesariamente implica problemas de planificación que finalmente se traducen en sobrecostos o incumplimiento de cronogramas. Así mismo se identifica que la gran mayoría de indagados no calcula cantidad de residuos productos de demolición; esto muestra la poca importancia que se da a la gestión integral de los RDC.

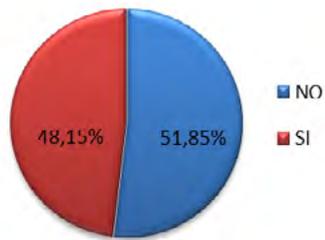


Fig. 10: Conocimiento sobre el depósito final de residuos de construcción.

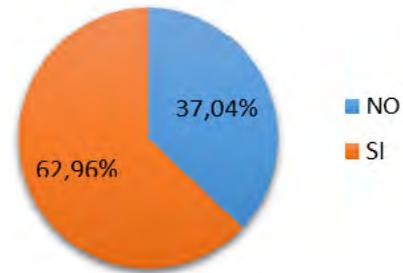


Fig. 13: Establece lugares dentro de la obra para acumular residuos.

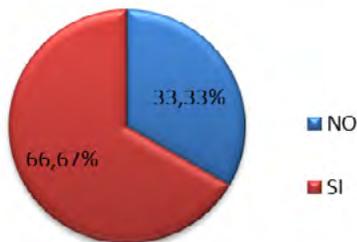


Fig. 11: Cuantificación de la cantidad de materiales que utiliza en la obra.

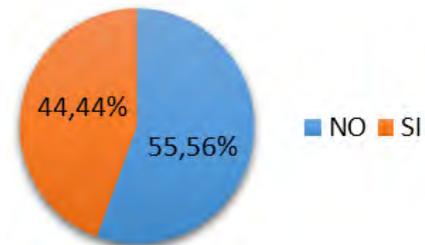


Fig. 14: Tiene contenedores para el depósito de materiales seleccionados.

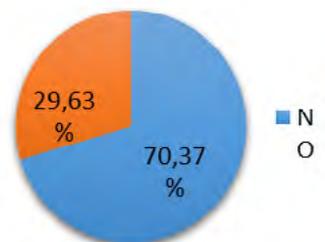


Fig. 12: Cálculo de la cantidad de residuos que se generara en la obra.

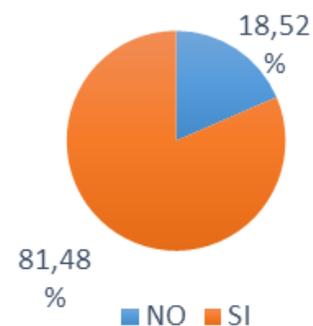


Fig. 15: Establece puntos limpios.

En cuanto al manejo de los residuos dentro del proyecto constructivo, se identifica que aproximadamente la mitad de los indagados responden tener puntos específicos para su depósito y acumulación; sin embargo, la mayoría no establecen estos puntos como sitios que respondan a lineamientos ambientales predeterminados (Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15).

Como resultado de la investigación se presenta lo siguiente:

En orden descendente de importancia, los indagados consideran que los siguientes RCD pueden ser reutilizados: acero, arenas, PVC, cerámicas, gravas, maderas, papel, cauchos, gravas, concretos, aluminio, baldosín, ladrillos, vidrios, siliconas, cobre, residuos de tierra negra, arcillas, cartones.

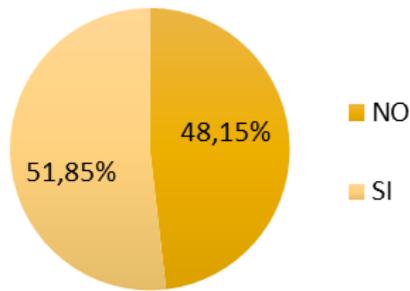


Fig. 16: Utiliza transporte especial para trasladar los residuos al depósito final.

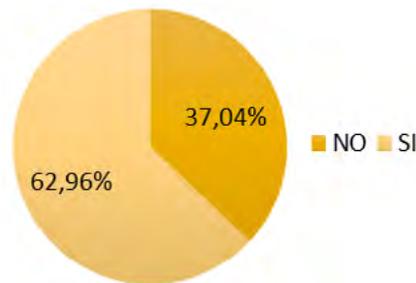


Fig. 17: Tiene problemas al depositar los residuos.

Igualmente, de mayor a menor, los resultados demuestran que la población objetivo considera que los RCD no aprovechables son: disolventes orgánicos, luminarias, emulsiones, alquitrán, resinas, tintas, plastificantes, aceites, barnices, betunes, tejas de asbesto, pinturas, escorias, desechos de productos químicos.

Respecto a los materiales que provienen de otras obras, consideran que pueden ser utilizados los siguientes, de mayor importancia a menor: cerámicas, baldosín, gravas, papel, bloques de roca, cantos, cauchos, vidrios, acero, maderas, siliconas, arcillas, morteros, residuos de tierra negra, concretos, ladrillos, arenas, PVC, cartones, residuos vegetales, cobre, aluminio, zinc.

5. CONCLUSIONES

La mayor cantidad de obra de construcción es direccionada por personal empírico, por lo cual el manejo de la información técnica es básico y se ve caracterizada por el entorno cultural en el que se desarrolla esta actividad; esta situación conlleva a que no exista una percepción clara acerca de la responsabilidad que se debe asumir frente al manejo de RCD para disminuir el impacto que este tipo de materiales causa sobre el medio natural. Al realizar los planes y programas de la administración municipal no se identifica un compromiso claro con respecto a campañas de acompañamiento para desarrollar una conciencia ambiental en este sector de la economía; asimismo, los proyectos en la temática involucrados en el PGIRS municipal no permiten el desarrollo a corto plazo de soluciones adecuadas a la norma en aspectos como disposición final, manejo y reutilización de residuos de construcción y demolición.

Es necesario que se vinculen diversas instancias para la solución de la problemática identificada, puesto que esta debe ser resuelta construyendo una cadena de conocimientos que establezca un vínculo entre la empresa, la sociedad, el Estado y el quehacer investigativo, de tal forma que se disminuya la brecha entre estos agentes del proceso creando apropiación social sobre las causas y el control de ellas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de la Institución de educación superior "ITFIP", a la Ing. Ederley Rodríguez docente investigadora del programa de ingeniería civil y a los estudiantes del nivel de tecnología en gestión de la construcción, por su colaboración y apoyo en la elaboración del presente proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Alcaldía municipal del Guamo, "El cambio se construye, es la hora de la gente 2016-2019", Guamo -Tolima, 2016.
- [2] Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. "Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones", Resolución 472 de 2017. Diario Oficial No. 50.166, 5 de marzo de 2017.
- [3] M. Espaliat Canu, *Economía circular y sostenibilidad. Nuevos enfoques para la creación de valor*. Santiago de Chile: Create Space Independent, 2017.
- [4] D. Mebratu, "Sustainability and sustainable development: Historical and Conceptual Review", *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 18, no. 6, pp. 493-520. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(98\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00019-5)
- [5] Miniambiente. (2017, marzo 3). Miniambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros. [En línea]. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- [6] Medellín, C. d. (2013). La economía circular en el sector de la construcción. *Revista Antioqueña de Economía y Desarrollo*, pp. 22-24.
- [7] M. F. Resico, *Introducción a la Economía Social de Mercado*, Río de Janeiro: Konrad Adenauer Stiftung.
- [8] F. Aguilera Klink, y V. Alcántara, *De la Economía Ambiental a la Economía Ecológica*. Barcelona: Icaria, 1994.
- [9] A. Lecuona Nuemann, M. Izquierdo Millán, y P. A. Rodríguez Aumente, "Investigación e impacto ambiental de los edificios. La energía", *Informes de la Construcción*, vol. 57, no. 498, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.2005.v57.i498.477>
- [10] M. Del Río Merino, P. Izquierdo Gracia, and IS. Weis Azevedo, "Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered", *Waste Manag Res*, vol. 28, no. 2, pp. 118-129. DOI: [10.1177/0734242X09103841](https://doi.org/10.1177/0734242X09103841)
- [11] J. Aldana, y A. Serpell, "Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis", *Revista de la Construcción*, vol. 11, no. 2, pp. 4-16, 2012. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127625512010>
- [12] C. M. Bedoya Montoya, *Construcción sostenible para volver al camino*. Colombia: Biblioteca Jurídica Diké, Mares consultoría sostenible, 2011.
- [13] R. A. Robayo Salazar, "Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento", *Tecnura*, vol. 19, no. 44, pp. 157-170. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2>

Evaluación del desarrollo en infraestructura fluvial para el corredor logístico del río Magdalena

Evaluation of the development in fluvial infrastructure for the logistical corridor of the Magdalena river

Andrés Ignacio Zamudio Castro*
Giovanny Alexander Baquero Villamil**
Mateo Pachón Rincón***

(Recibido el 02-06-2018. Aprobado el 31-10-2018)

Estilo de citación de artículo:

A. Zamudio Castro, G. Baquero Villamil, y M. Pachón Rincón, "Evaluación del desarrollo en infraestructura fluvial para el corredor logístico del río Magdalena", *Lámpakos*, (21), pp. 75-84. (enero-junio, 2019). DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2691>

Resumen.

El desarrollo fluvial es uno de los aspectos que está en boca de todos cuando de apuestas hacia el desarrollo logístico del país se trata. Desaprovechado por años, el transporte fluvial permite alta capacidad de carga, es económico, su impacto ambiental es bajo y tiene gran capacidad de integración multimodal. Es por ello que este artículo presenta una evaluación del desarrollo en infraestructura que ha tenido el corredor logístico del río Magdalena en los últimos 18 años, empezando en el año 2000, recorriendo las propuestas que se han hecho para incentivar y fortalecer el desarrollo de operaciones logísticas efectuadas a lo largo del río.

El ejercicio metodológico se provee, en primera instancia, de una descripción sobre la inversión en desarrollo e infraestructura para los puertos del corredor logístico objeto de estudio, entre ellos el de Puerto Salgar en el departamento de Cundinamarca, y la salida del afluente en el puerto de Barranquilla. Posterior a esto, se hace un recorrido de la operación actual en el corredor, y de los corredores que se encuentran en procesos de estudio por parte de entidades gubernamentales para su próxima intervención de acuerdo con las restricciones propias que presenta el afluente.

Luego de la exposición en infraestructura se presentará una descripción de los planes de inversión, desarrollo e implementación sobre los planes, para después concluir presentando un planteamiento general de la situación del río, que permita empezar a contemplar elementos sobre el desarrollo del corredor a futuro.

Palabras clave: Modo fluvial; Logística; Multimodal; Infraestructura fluvial; Río Magdalena; Transporte.

* Ingeniero Industrial, Estudiante de Maestría, Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: azamudioc@poligran.edu.co

** Ingeniero Industrial, Estudiante de Maestría, Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: gbaquero@poligran.edu.co

*** Magister en Ingeniería Industrial, Ingeniero – Automatización Industrial, Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: mpachonr@poligran.edu.co

Abstract.

River development is one of the aspects that is in the public eye when talking about logistics development of the country. Unused for years, fluvial transport allows high load capacity, it is economical, its environmental impact is low and it has great capacity for multimodal integration. For all these reasons, this article presents an evaluation of the infrastructure development that the logistics corridor of Magdalena River has had in the last 18 years, beginning in 2000; it covers the proposals that have been made to encourage and strengthen the development of logistics operations carried out along the river. The methodological exercise involves a description of the investment in development and infrastructure made to the ports of the logistics corridor under study, among them Puerto Salgar in Cundinamarca department, and the exit of the tributary in Barranquilla's port. It also includes the current situation of the operations made in the corridor, as well as in the corridors that are being studied by governmental entities with the purpose of being intervened in accordance with the restrictions that the tributary presents. After displaying the information regarding to infrastructure, a description of the investment plans, development and implementation of the plans will be presented. Finally, the conclusion will expose a general approach to the situation of the river that allows to begin taking into consideration some elements to help the development of the corridor in the future.

Keywords: Fluvial mode; Logistics; Multimodal; Fluvial infrastructure; Magdalena river; Transport

1. INTRODUCCIÓN

El interés por incentivar el desarrollo e inversión en corredores fluviales, como una alternativa viable y de bajo costo propuesta por el Gobierno Nacional, se evidencia en la participación de diferentes actores en el desarrollo de corredores fluviales; estos estudios en muchos casos parten de la generación de políticas públicas que permiten el desarrollo continuado e incremental, y consideran la interacción entre los agentes que componen un sistema logístico y sus dinámicas [1]. Si bien la ejecución de políticas públicas en Colombia aún tiene grandes retos, hay avances en materia de transporte fluvial, por ejemplo, el decreto 2079 asociado a las actividades portuarias fluviales que parte del principio de interés público [2].

Se toman como estandarte representativo el afluente del río Magdalena -considerado como el principal afluente del país dada su longitud y recorrido por diferentes departamentos-, con miras a mostrar cómo las inversiones en infraestructura y las políticas asociadas al transporte de bienes cobran importancia en el desarrollo y la eficiencia de los sistemas logísticos, por ejemplo, al cambiar el tipo de vehículos y sus capacidades [3]; adicionalmente elementos asociados a la infraestructura especializada y a su desarrollo [4].

Caracterizado por su uso en los tiempos modernos para el transporte de hidrocarburos, carbón y productos a granel, el río Magdalena no cuenta con un gran desarrollo en infraestructura; lo que se debe al abandono por parte del Estado, las restricciones impuestas por el mismo río, la falta de inversión y el desaprovechamiento de las ventajas operacionales del transporte fluvial. Uno de los referentes en relación a estos elementos estratégicos para el desarrollo de la logística nacional es el documento Conpes 3547 [5].

Por las situaciones anteriormente mencionadas, el propósito de este artículo es esbozar la situación general del río Magdalena en cuanto a inversión y desarrollo de obras de infraestructura física, con el fin de fortalecer y habilitar su corredor. El informe nacional de competitividad para los años 2014-2015 indica que, en materia de infraestructura, no es uno de los ele-

mentos que se destaquen por su avance con respecto a otros países [6]. Esto describiendo su desarrollo por los principales tramos del afluente comprendidos entre el puerto de Puerto Salgar y la salida del río Magdalena; tomando como referencia el documento CONPES 3758 propuesto para la ejecución de las nuevas obras de desarrollo [7].

Por último, los autores agradecen la financiación y el apoyo otorgado por Colciencias y el Ministerio de Transporte de Colombia para el desarrollo del proyecto: *Estudio del transporte de carga en los principales corredores de Colombia -E-Transcol*, otorgado a través de la convocatoria pública 603 de Colciencias: *Convocatoria para la selección de un proyecto de investigación para la optimización de la cadena logística de transporte de carga en Colombia* [8].

2. METODOLOGÍA

El grupo E-TRANSCOL, durante su participación en la identificación del corredor logístico nacional y basado en la política pública nacional para el transporte de carga [9], ha identificado como uno de sus objetivos primarios el:

Diseñar un modelo prototipo de corredor logístico que permita formular estrategias y arreglos institucionales, en relación al cual se puedan identificar los cambios necesarios que permitan mejorar el desempeño logístico del sector transportador de carga, con base en escenarios futuros deseados y no deseados en los principales corredores del país [8].

Para el logro del mismo identifica como actividad necesaria “desarrollar un sistema de indicadores logísticos que permita monitorear el desempeño del sistema logístico de carga, específicamente en el corredor ideal” [8].

Por tal motivo, se desarrolla una fase de investigación que pretende identificar variables relevantes para medir el desempeño de los corredores logísticos nacionales, tomando como caso particular el corredor fluvial del río Magdalena, dada su importancia para el

progreso de diferentes sectores que desde años atrás realizan el transporte de carga por este corredor, así como los nuevos interesados dado el auge en desarrollo que se ha gestionando en los últimos años [8].

A continuación, se describe el proceso metodológico para la evaluación del desarrollo en infraestructura que se ha venido trabajando en el río Magdalena en los últimos años. Como primera parte se hace una corta reseña histórica del río, su progreso e importancia para el país; luego se describen las medidas implementadas para el mejoramiento del desempeño del corredor logístico del río Magdalena con base en los objetivos propuestos en el documento CONPES 3758. Siguiendo con el desarrollo de la evaluación, se plantea una descripción del estado de los puertos fluviales del corredor, en el tramo seleccionado entre Puerto Salgar y la salida del río Magdalena en el Caribe colombiano [7].

Por último, se realizará una breve descripción de los planes de inversión, desarrollo e implementación sobre ellos, para concluir con un planteamiento general de la situación del río en cuanto al avance de infraestructura y posibles situaciones futuras, con el fin de ahondar en investigaciones de logística fluvial en el país.

3. ANTECEDENTES

El recurso fluvial es una de las principales formas de transporte. Su importancia radica en la posibilidad de movilizar carga con bajos costos de operación, en grandes volúmenes y con la capacidad de conectar dicho material con diversos modos de transporte, como son el terrestre, aéreo y ferroviario [10]. Permite además establecer altos niveles de seguridad y movilidad a través del desarrollo de redes logísticas para la movilización de mercancías y puntos de carga y descarga mediados por la interconexión con zonas de transbordo y puertos [11], [12]. Lo anterior requiere una gran inversión de recursos destinados al mejoramiento de las operaciones logísticas para la adecuación de dicho modo de transporte, lo cual será el eje central de este

artículo, explicando claramente los requerimientos y los proyectos que se han venido ejecutando durante los últimos años en el país.

El río Magdalena es conocido como el principal afluente de Colombia por su extensión de 1550 km, que atraviesa medio país entre las cordilleras central y occidental, conectando a gran parte del centro de Colombia con el mar Caribe. Su extensión corresponde al 24% de la superficie del país y conecta a los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Caldas, Atlántico, Bolívar, Santander y Magdalena. Con solo 1024km aptos para la navegación de vehículos de carga [7].

La literatura da cuenta de cómo era utilizado el río Magdalena como principal modo de transporte de mercancías en los siglos XV y XVI; su importancia se veía opacada por las restricciones de navegación definidas por el mismo afluente [13]. Sin embargo, ha sido fundamental como eje de desarrollo económico, transporte de carga y pasajeros, destacándose a lo largo de la historia.

Para los siglos XVIII y XIX, con la llegada de los caminos de herradura y las instalaciones de grandes centros urbanos en localizaciones lejanas a la ladera del río, el transporte de carga por medio fluvial empezó a perder importancia; aun cuando seguían siendo surcados por máquinas a vapor que se encargaban de transportar pasajeros y mercancías por todo el corredor, el desarrollo que se le dio a este medio no fue el esperado [13].

Hacia 1920, el comercio del país tenía proyecciones de rápido desarrollo, las importaciones eran cercanas a 350 mil ton/año, contando con una flota de 97 buques a vapor [14]. Para el año de 1922, comienza una época de transformación en el transporte fluvial del río Magdalena motivada por la llegada del "fuel oil", que reemplazó la leña y el carbón como combustible de la flota. Estos cambios se desarrollaron como consecuencia de la puesta en operación de la refinería de Barrancabermeja. Así mismo, los desarrollos de algunos sectores productivos del país han ido de la mano del avance de esta industria, tal es el caso de los hidrocarburos y su

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2691>

vinculación con el puerto de Barrancabermeja, el cual se ha especializado en el embarque de barriles de derivados de hidrocarburos para ser transportados a los puertos de la zona caribe para su posterior comercialización o exportación.

La transición tecnológica en la flota por buques propulsados por motores diésel llegó cerca al año 1940, aprovechando las ventajas que los usos de estas tecnologías proporcionaron en velocidad y capacidad de los buques, y comodidades para la tripulación y los pasajeros. Registros históricos presentan que en 1956 se movilizaron cerca de 2 millones de ton/año y más de 360 mil pasajeros [14].

Múltiples intentos de aprovechamiento del río se han propuesto, pero sus características de navegación y el desarrollo multimodal han sido los principales obstáculos en el desarrollo del río Magdalena. Se han iniciado proyectos de gran nivel, pero por malas gestiones no se han desarrollado como se esperaba y quedan obras inconclusas [15].

Con la llegada del ferrocarril del Pacífico, se dejó de lado la utilización del río como medio de transporte de carga. Para los años de 1950, el desarrollo de carreteras y nuevas alternativas de transporte, como el transporte aéreo, opacaron al ferrocarril del Pacífico y el río Magdalena. En 1991, con la expedición de la Constitución Política del País, se realiza un reajuste al Ministerio de Transporte, proporcionando herramientas para la creación de organismos como la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena – Cormagdalena, encargada de los aspectos técnicos y de control del río [14]. Instituciones vinculadas con el transporte fluvial como Cormagdalena desarrollan análisis como el *“Estudio de demanda de transporte del sistema fluvial del río Magdalena y evaluación beneficio costo de la instrumentación de un esquema de reactivación de la navegación fluvial”*, ejecutado en el año 2001 como una herramienta para justificar la inversión sobre el río y reactivar su operación [15].

En los últimos años se han venido gestionando proyectos con miras a desarrollar y fortalecer el transporte fluvial existente; es el caso del proyecto de locomotora de la infraestructura propuesto por el Gobierno Nacional, o los documentos CONPES 3758 [7]. Este desarrollo se encuentra de manera lenta y sectorizada sobre algunos focos específicos, desatendiendo zonas críticas que garantizarían el avance y posible desarrollo del corredor con miras a acercar los puertos a los centros urbanos organizados en el interior del país.

4. PROYECTOS DE DESARROLLO EN INFRAESTRUCTURA FLUVIAL DEL RÍO MAGDALENA

El río Magdalena

El atractivo de los proyectos de desarrollo en el río Magdalena ha captado la atención de navieras inversoras para aprovechar las potencialidades del mercado que se encuentran aún sin explorar, y con gran apoyo en cuanto al desarrollo en infraestructura por parte del Gobierno Nacional. Colombia es un país destacado por su riqueza hídrica; cuenta con una red fluvial de longitud total de 24.725km, de la cual corresponde al río Magdalena 1.550km desde su nacimiento en la laguna de la Magdalena, hasta la desembocadura en el mar Caribe [7].

Navegable en un 66% de su longitud total, ocupa el 24% de la superficie continental del país, su uso no se limita al transporte de mercancías, es utilizado también para generar el 70% de la producción hidroeléctrica del país y el 95% de la termoeléctrica. Registra el mayor movimiento fluvial del país con 44,69%, y 0,6% de la carga total que se moviliza en el país. El tramo seleccionado entre Puerto Salgar, Cundinamarca y la desembocadura del río en Barranquilla, cuenta con 909km navegables y habilitados para el transporte de carga y/o pasajeros [7].

Estado actual del corredor fluvial y sus puertos

El río se encuentra dividido en tramos bajo los cuales se pueden efectuar proyectos de desarrollo celebrados con particulares [16], algunas de las obras más sobresalientes que se encuentran contratadas son (ver Tabla 1):

Tabla 1. Principales obras de infraestructura desarrolladas

Proyecto	Costo (Cop)
Mantenimiento del sector Barrancabermeja – Calamar, como un convenio con Ecopetrol, para realizar obras de dragado en el río Magdalena en el tramo comprendido entre Barrancabermeja y Calamar (excluyendo Pinillos)	\$6.000 millones
Dragado hidráulico en la jurisdicción del municipio de Pinillos, con las dragas "CORMAGDALENA 1" y "DHC-9"	\$1.590 millones
Dragado y la interventoría para el mantenimiento de la profundidad del canal navegable en el río Magdalena en el sector comprendido entre Puerto Salgar / La Dorada (Cundinamarca / Caldas)–Barrancabermeja (Santander)	\$8.123 millones
Mantenimiento de la profundidad del canal navegable del río Magdalena mediante dragado en el Puerto de Barranquilla	\$9.479 millones

Puertos fluviales

La situación de los puertos del río es el factor más desalentador del corredor, su capacidad es rebasada por la demanda estimada, y la ineficiencia en factores claves como el tamaño, calidad y servicio, hacen ver un panorama de fracaso en la operación fluvial [17]. Factores deficientes en el contexto de los puertos son los siguientes:

- Los muelles inapropiados.
- Falta de patios de almacenaje.
- Bodegas.
- Servicios complementarios.

Los equipos tecnológicos con los que se cuenta para el manejo de la carga en los puertos no son los adecuados, como tampoco lo son los aspectos de seguridad industrial [7]. El río cuenta con 13 concesiones

portuarias, con inversiones estimadas cercanas a los \$34 mil millones y otras 9 solicitudes de concesión con una inversión de \$190 mil millones de pesos, lo que ayudará al desarrollo y mejoramiento de las condiciones actuales de los muelles [14].

Plan para restablecer la navegabilidad del río Magdalena

El río cuenta con 13 concesiones portuarias, con inversiones estimadas cercanas a los \$34 mil millones de pesos colombianos. El documento CONPES 3758 planteó un plan de acción en 2013, con el fin de restablecer la navegabilidad en el río Magdalena; proponiendo a corto plazo el mejoramiento de las condiciones de navegabilidad del río, y en el mediano plazo, el desarrollo de este corredor fluvial como un corredor logístico intermodal [18]. En este orden de ideas, se plantean una serie de objetivos para restablecer la navegabilidad del río Magdalena, en particular:

- Mejorar la navegabilidad del río Magdalena a través de adecuadas inversiones en infraestructura y ayudas a la navegación.
- Consolidar la oferta de infraestructura logística integrada en los diferentes nodos estratégicos.
- Permitir una navegación segura y continua durante las 24 horas del día, para lo cual se debe ampliar la cobertura del Sistema de Asistencia Satelital (SNS).
- Mitigar impactos ambientales que actualmente afectan la condición ecológica de la cuenca y del recurso hídrico, sumado a la afectación de sus usos y aprovechamientos socioeconómicos, como lo es la navegabilidad. Esta articulación proporcionará herramientas para la recuperación y desarrollo del corredor. En particular el plan está compuesto de tres ejes (ver Figura 1):



Fig. 1. Plan de recuperación para el desarrollo del corredor

- Esquema de Asociación Pública Privada – APP: mediante la elaboración de los análisis necesarios para ejecutar el proyecto bajo un nivel de conformidad con los requisitos y procedimientos contemplados en la Ley 1508 de 2012 y sus decretos reglamentarios, los cuales logren hacer un traslado eficiente de los riesgos buscando maximizar el río como una gran arteria de transporte [19].
- Componente físico: contempla una serie de intervenciones en el río orientadas a la ampliación de kilómetros navegables, en búsqueda de mejorar las condiciones de navegabilidad sobre el río.
- Acciones complementarias orientadas hacia el desarrollo y fortalecimiento: enfatizan en el desarrollo de obras alternas al río, que fortalecerán los servicios de transporte intermodales, y logísticos [20].

Dada la naturaleza de la investigación que se pretende abordar, se realiza un énfasis en el componente físico del plan de acción descrito por el Departamento Nacional de Planeación [7].

Proyectos de desarrollo en infraestructura

Con el objetivo de mejorar las condiciones de navegabilidad, se realizó un análisis del sistema de transporte en el corredor del río Magdalena, los volúmenes, pesos y tipos de carga movilizados; el origen y destino y los costos de operación de los modos fluvial en comparación con el carretero y férreo de la zona comprendida por el corredor; por otro lado, hay estudios que indican la necesidad de analizar el transporte multimodal en áreas próximas a la cuenca del Magdalena [21].

Bajo la estimación de demanda de carga a movilizar por cada puerto, se definieron cuáles serían los beneficios e ingresos esperados para cada actor debido a la reactivación de los puertos, determinando en cada caso la relación de costo/beneficio que se puede presentar, además de otras medidas o indicadores. Este estudio realizado por Cormagdalena concluyó que es factible el desarrollo de la navegación desde Barranquilla hasta Puerto Salgar, técnica y económicamente, teniendo un estimado de capacidad máxima de circulación por el corredor de 550 millones de toneladas/año [14].

De acuerdo con lo mencionado, las acciones de intervención en el río se dividieron en 15 tramos según el nivel de atención necesaria, y la asignación prioritaria asignada por el estudio realizado por Cormagdalena. Esto con el fin de definir un canal navegable y que permita una profundidad de 7 pies en el tramo de 256km [7].

5. COMPONENTE FÍSICO E INFRAESTRUCTURA

Navegabilidad en 256 km: desarrollo de obras de encauzamiento en el tramo Puerto Salgar / La Dorada – Barrancabermeja

Cormagdalena identificó como prioritario el tramo comprendido entre Puerto Salgar/La Dorada y Barrancabermeja, que cuenta con una extensión de 256 Km., para mejorar las condiciones de navegabilidad del río y así permitir el aprovechamiento del corredor para

el transporte de carga del interior del país hacia el mar Caribe o viceversa (CONPES 3758). A continuación la descripción de las obras:

- **Canal navegable:** es necesario realizar ajustes al canal existente en buena parte de su recorrido, para mejorar radios, anchuras, y profundidades, que cumplan con los estándares de navegación definidos por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – USACE [22].
- **Estructuras de encauzamiento:** las obras de encauzamiento utilizan la metodología que el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos maneja en el río Mississippi. Las obras consisten en un conjunto de revestimientos en trinchera, diques de alineamiento y enrocado, y anclajes de diques de enrocado, para minimizar la dispersión de los caudales en tiempos de sequía y concentrarlos en un solo canal principal más profundo y operativo [22].
- **Detalles de señalización y paso de canoas:** los diques tendrán pasos de canoas para no interferir con el desarrollo propio de las comunidades riverseñas, que dependen de la pesca en el río.
- **Obras de encauzamiento permanentes que permitan el tránsito de convoyes con mayor capacidad de carga, entre estas (ver Tabla 2):**

Tabla 2. Principales obras de adecuación

Obras	Descripción
Revestimientos en trincheras	Sirven para revestir orillas que están en proceso de erosión, o para conformar alineamientos futuros de la orilla.
Diques de alineamiento en enrocado	Estructuras que se construyen en el fondo del río para mejorar o para dirigir el flujo en cruces y áreas donde la orilla es demasiado baja.
Diques de enrocado para control de flujo en aguas bajas	Sirven para control del flujo de aguas bajas en brazos menores, orientar las líneas de corriente, promover el desarrollo de nuevas orillas, y servir como pantallas hacia tierra en complemento.
Anclajes de diques de enrocado	Sirven para empotrar las estructuras en los barrancos laterales del río.

Desarrolladas las obras de encauzamiento, se garantizará que convoyes tipo R-2B-2B-2B (Remolcador + seis barcasas en tres hileras de a dos), con capacidad máxima de carga de 6.000 y 7.200 toneladas en cada uno de los remolcadores, puedan transitar en condiciones permanentes y seguras de navegabilidad durante los 365 días del año.

Estas obras tienen un costo aproximado de USD\$ 387.5 millones para los 256 Km del tramo Puerto Salgar – Barrancabermeja, arrojando un costo promedio de USD\$1.55 millones/Km.

Medidas de mejoramiento tramo Puerto Salgar / La Dorada – Bocas de Ceniza / Barranquilla

Concluido el objetivo de aumentar la profundidad del corredor fluvial del río Magdalena en el tramo Puerto Salgar y Barrancabermeja, será necesario garantizar las actividades de dragado a lo largo de todo el corredor, desde Puerto Salgar – La Dorada, hasta Bocas de Cenizas – Barranquilla, con una longitud de 909 km. Lo que busca este programa de dragado hidráulico es garantizar las condiciones de profundidad que habiliten la navegabilidad en el río, basadas en la norma del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos – USACE, de acuerdo con el tramo correspondiente (ver Tabla 3):

Tabla 3. Condiciones de profundidad para la navegabilidad por tramo

Tramo	Calado
Primeros dos (2) km, desde Bocas de Ceniza hacia el Puente Laureano Gómez	40 pies
Canal de acceso	37,5 pies
Tramo entre Barranquilla y Barrancabermeja (km 630)	7 pies
Barrancabermeja y Puerto Berrío	6 pies
Puerto Berrío y Puerto Salgar	4,5 pies

En el tramo Barrancabermeja y Puerto Salgar, el objetivo es lograr la profundidad de 7 pies cuando se finalicen las obras de inversión en puertos y en el corredor.

6. CONCLUSIONES

Como se evidencia en el artículo, las obras desarrolladas por parte del gobierno nacional han sido grandes, pero no suficientes para permitir la navegabilidad y el transporte de materiales, mercancías y personas por modo fluvial en el río Magdalena. La importancia de dicho corredor radica en la posibilidad de conexión del territorio nacional por medio de los más de 1500 km de recorrido. Como elementos fundamentales de esta investigación, se definen los siguientes elementos:

- El interés por fomentar el desarrollo de corredores fluviales por parte del Gobierno, con participación de entidades privadas, beneficiará el fortalecimiento de los mismos mediante la inversión y motivación de nuevos actores frente al uso de estos servicios.
- Las características del río son dificultades sobresalientes a lo largo de la investigación; sin embargo, la replicación de modelos funcionales de otras partes del mundo, dan un parte de solución.
- El escepticismo en cuanto al desarrollo del corredor es evidente por algunas entidades, aunque se cuenta con una gran coalición de interesados, participantes y promotores del proyecto.
- La fase actual de avance en la que se encuentra el corredor, aún no nos permite empezar a formular conceptos en cuanto a los pronósticos y funcionamiento real del mismo.

7. TRABAJOS FUTUROS

Las investigaciones futuras podrán dirigirse hacia propuestas para garantizar las condiciones de profundidad que habiliten la navegabilidad en el río, y de esta forma impactar positivamente en estudios que puedan incrementar la competitividad logística.

El desarrollo en el corredor fluvial del río Magdalena apenas empieza a tomar forma, y existen algunos tópicos que se abordan de manera superficial, y pueden

ser posibles casos de investigación en oportunidades futuras; entre los cuales se destacan los siguientes temas:

- Coordinación de actores en el corredor.
- Multimodalidad de transporte de carga en puertos.
- Manejo de mercancías en puerto.
- Sectores productivos impactados por la operación del corredor.
- Eficiencia en los niveles de servicio y flexibilidad en el transporte.
- Políticas públicas que beneficien la inversión pública y privada en las operaciones logísticas en modos de transporte fluvial.

REFERENCIAS

- [1] G. Liedtke, "Principles of micro-behavior commodity transport modeling", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 45, no. 5, pp. 795-809, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2008.07.002>
- [2] Ministerio de Transporte, Decreto número 2079 de 2010, Bogotá D.C., 2010.
- [3] J. Allen, G. Tanner, M. Browne, S. Anderson, G. Christodoulou and P. Jones, "Modelling Policy Measures and Company Initiatives for Sustainable Urban Distribution", University of Westminster, 2003.
- [4] Departamento Nacional de Planeación, "Seguimiento al Conpes 3547 del 27 de octubre de 2008: política nacional logística", Conpes 3568, Bogotá D.C., 2009.
- [5] Departamento Nacional de Planeación, "Política Nacional Logística", Conpes 3547, Bogotá D.C., 2008.

- [6] Consejo Privado de Competitividad, "Informe nacional de competitividad", Bogotá: Puntoaparte, 2014.
- [7] Departamento Nacional de Planeación, "Plan para restablecer la navegabilidad del río Magdalena", Conpes 3758, Bogotá D.C., 2013.
- [8] M. D. Arango Serna et al. *Sistema Logístico Nacional de Carga Colombiano*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [9] Departamento Nacional de Planeación, "Política nacional de transporte público automotor de carga", Conpes 3489, Bogotá D.C., 2007.
- [10] C. Barnhart and G. Laporte, Eds., *Handbooks in operations research and management science: Transportation*. Cambridge Massachusetts: North-Holland, 2007.
- [11] G. De Jong, H. Gunn and W. Walker "National and international freight transport models: An overview and ideas for future development", *Transport Reviews* vol. 24, no. 1, pp. 103-124, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1080/0144164032000080494>
- [12] E. Miller-Hooks, L. Chen, R. Nair and H. Mahmasani, "Security and Mobility of Intermodal Freight Networks", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, pp. 109-117, 2009. DOI: <https://doi.org/10.3141/2137-12>
- [13] Museo Nacional de Colombia, *Río Magdalena Navegando por una Nación*, 2da edición, Bogotá: Museo Nacional de Colombia, 2010.
- [14] Cámara Colombiana de Infraestructura, "Seguimiento a proyectos de infraestructura, informe dirección técnica, transporte fluvial: río Magdalena-Canal del Dique", Bogotá D.C.: CCI, 2008.
- [15] Fluidis, Cormagdalena, "Plan de manejo de la cuenca del río Magdalena-Cauca", CORMAGDALENA, 2017.
- [16] P. R. Fornaguera, "Plan de Inversiones en Infraestructura de transporte", Documentos Ministerio de Transporte, 2010.
- [17] Cormagdalena, "Adecuación de los Principales Puertos del río Magdalena", 2002.
- [18] ASOPORTUARIA, Modelos de optimización de costos de transporte intermodal en el río Magdalena, ASOPORTUARIA, 2013.
- [19] Congreso de Colombia, "Ley 1508 de 2012", Diario Oficial 48308, Bogotá D.C., 2012.
- [20] Naviera Fluvial Colombiana S.A., "Transporte intermodal de carga por el río Magdalena" en Foro de Logística de Graneles Sólidos, Naviera Fluvial Colombiana S.A., 2009.
- [21] Ministerio de transporte, "Metodologías tarifarias del transporte fluvial en Colombia. Análisis conceptual", Bogotá D.C., 2006.
- [22] U.S. Department of Homeland Security, "Coast Guard Navigation Standards Manual", Washington, DC, 2016. Retrieved from https://media.defense.gov/2017/Mar/28/2001723011/-1/-1/0/CIM_3530_2E.PDF

CÓDIGO DE CONDUCTA Y GUÍA PARA AUTORES

Código de conducta

La revista Lámpsakos es una publicación digital semestral, adscrita a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en los meses de enero-junio y julio-diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación en línea de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

La revista Lámpsakos, es de acceso abierto financiada por la Universidad Católica Luis Amigó, quien se ocupa de todos los costos de edición, publicación y divulgación. Por lo tanto, no genera ningún cobro a sus colaboradores (autores, lectores, revisores, bibliotecarios, etc); ni genera ninguna retribución económica ni a los autores, ni a los miembros de los comités. Las decisiones y procedimientos se rigen por criterios de calidad académica, excelencia investigativa, integridad, honestidad y transparencia, por lo que se adhiere a los principios del Committee of Publication Ethics (COPE).

Lámpsakos, se rige a los criterios emitidos por la jurisprudencia colombiana, mientras se rige paralelamente con los derechos de autor y los derechos afines con la sociedad de la información. Enmarcados siempre ante las normas de calidad de diversos sistemas de indexación y resumen.

El código de conducta, tanto la guía para autores, deben ser adoptadas por cualquier actor que se vincule a la revista, en proporción al rol que ejerza.

Equipo de colaboradores

Con el fin de certificar y garantizar que el actuar de cada uno de los actores implicados se de en el marco de la ética, transparencia, calidad y rigor científico, proporcionando siempre un equipo humano que contribuya a dirimir conflictos, esta revista se acompaña de los siguientes comités:

Directora/ Editora

Ingrid-Durley Torres

PhD(c) en Ingeniería de Sistemas

Investigador Reconocido en Colciencias

Comité Editorial

Rubén Ángel Galindo-Aires, Ph.D., Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España
Giner Alor-Hernández, Ph.D., Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México
Óscar Sapena-Vercher, Ph.D., Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España
Amit Chaudhry, Ph.D., Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India
Luis Fernando Garcés-Giraldo, Ph.D., Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia
Nazly E. Sánchez-Peña, Ph.D., Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia
Nourou Khalidou Dia, Ph.D., Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania
Henry Alonso Colorado-Lopera, Ph.D., Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
Julián Alberto Patiño-Murillo, Ph.D(C)., Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

El comité editorial, se conforma de un equipo humano cuya formación y conocimientos, se relacionan completamente con la orientación temática de la revista y ejercen funciones orientadas a otorgar los niveles de calidad y rigurosidad que demanda. Para cumplir con lo citado, los integrantes de éste comité, revisan, supervisan, dirigen y velan que cada manuscrito presentado y publicado, cumpla con el enfoque, la orientación y los criterios de calidad. Tienen la cualidad de fungir como editores invitados en números especiales y contribuyen con la divulgación de la revista, a fin de incrementar el interés académico y científico de autores y lectores de Lámpsakos, en el mundo. Pueden en algunas contadas ocasiones, someter sus publicaciones al mismo proceso editorial de ésta revista, siempre respetando los parámetros para ello establecidos.

Comité Científico

Marcelo Becker, Ph.D., Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil
José María Yusta-Loyo, Ph.D., Universidad de Zaragoza (Unizar), España
Gustavo Alejandro Schweickardt, Ph.D., Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina
Bizuayehu Abebe-Worke, Ph.D., Universidade da Beira, Covilhã, Portugal
Aldo Pardo-García, Ph.D., Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia
Marta Silvia Tabares-Betancur, Ph.D., Universidad EAFIT, Medellín, Colombia
Yuri Ulianov-López, Ph.D., Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia
Andrés Felipe Agudelo-Santamaría, Ph.D., Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

El equipo humano del comité científico goza de reconocimiento en el medio académico, y actúan como asesores externos. No forman parte de su actividad, evaluar artículos y excepcionalmente someten artículos. Su tarea es acompañar con su objetividad la pertinencia y calidad científica de los artículos postulados a publicación.

Consejo Editorial

Isabel Cristina Puerta Lopera, Ph.D. Vicerrectora de Investigaciones

Carlos Alberto Muñoz, jefe de la oficina de comunicaciones y RRPP

Paula Andrea Montoya Zuluaga, Representante de los docentes investigadores

Carolina Orrego Moscoso. Jefe Departamento de Fondo Editorial

Alvaro Osorio Tuberquia, Jefe de departamento de Biblioteca

David Esteban Zuluaga Meza, Representante de los directores-editores de Revistas Científicas

Juan Diego Betancurt Arias, Representante de los directores-editores de Revistas de Divulgación

Enfoque

Los temas tratados en la Revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería. Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en áreas como ingeniería informática, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, ingeniería ambiental, ingeniería civil, ingeniería mecánica, ingeniería industrial y demás tópicos centrados en el área de ingeniería.

Público objetivo

Lámpsakos está dirigida al público nacional e internacional, con interés manifiesto en los temas actuales y científicos de la Ingeniería. Permitiendo aportar conocimientos contextualizados de soluciones reales sobre problemáticas contemporáneas del ámbito de la ingeniería.

Toda la reclamación se recibirá por escrito mediante correo electrónico a la revista lampsakos@amigo.edu.co. El plazo máximo será de 5 días hábiles a partir de la recepción de la disconformidad.

Revisión editorial, antiplagio y evaluación de artículos

1. **Revisión temática de estructura y normas de citación.** Se evalúa la pertinencia del texto con los ejes temáticos de la revista y el cumplimiento de los criterios que se describen en las código de conducta y guía para autores. En caso que no responda a dichos parámetros, se regresa al autor; si la presentación formal o de fondo debe mejorarse, se le solicita realizar las correcciones y hacer un nuevo envío en un tiempo ajustado al cronograma de edición; si el artículo cumple con las condiciones mencionadas, se dará paso a la segunda etapa del proceso.
2. **Política antiplagio.** Con el propósito de identificar si los artículos son originales e inéditos y de evitar posibles copias y plagios, se utiliza tecnología profesional para comparar los manuscritos con otros ya divulgados por distintos medios digitales, incluso, con las publicaciones académicas participantes de Crossref. El sistema tecnológico genera un reporte e índice de similitud; si este último es superior al 25%, el artículo es descartado;

si por el contrario el índice es hasta del 25%, el artículo continúa en la tercera etapa del proceso. A partir del reporte se identifican, errores en el manejo de las citas y referencias, adecuado uso de las fuentes primarias y credibilidad de la información, con lo que se pretende prevenir el plagio.

3. **Evaluación por pares.** Los artículos se someten a evaluación por pares bajo la modalidad de doble ciego, es decir, que es confidencial la información de los autores para los dictaminadores, y viceversa; a esto se agrega que entre estos últimos no se dan a conocer datos personales ni los conceptos evaluativos. Una vez iniciada la evaluación del artículo, los autores se comprometen a no retirarlo hasta la finalización del proceso. El tiempo estimado entre la recepción del artículo y la evaluación es de tres (3) meses. Este lapso puede tener variaciones según la temática del artículo y otros procesos editoriales.

a. **Selección de evaluadores:** la revista cuenta con una base de datos de académicos investigadores, nacionales e internacionales, con experiencia en el ámbito de la ingeniería, respaldado con publicaciones científicas. Para cada artículo se asignan dos pares evaluadores que cumplan con las siguientes exigencias:

- i. Niveles de formación en maestría y prioritariamente, doctorado;
- ii. Sin conflicto de intereses respecto al tema o artículo que evalúen;
- iii. No pertenecer al comité editorial o al científico de la revista ni a la Universidad Católica Luis Amigó;
- iv. Si es colombiano, debe estar reconocido por Colciencias, en caso contrario, tener título de posgrado o un índice H5 mayor a 2.

b. **Revisión de los artículos:** la dirección de la revista entrega a los árbitros el artículo acompañado de un formato de evaluación en el que se abordan los siguientes elementos formales y temáticos:

- i. Pertinencia del artículo de acuerdo con los intereses de la revista
- ii. Correspondencia del título con el tema
- iii. Vigencia del tema
- iv. Utilización de términos y conceptos según la disciplina
- v. Pertinencia de gráficas, tablas y figuras
- vi. Utilización adecuada de las citas y referencias
- vii. Actualidad de las referencias
- viii. Novedad del trabajo
- ix. Rigor teórico-metodológico
- x. Coherencia del texto

4. **Decisión:** el formato se cierra con tres alternativas de dictamen:

- a. "Se publica sin modificaciones";
- b. "Se publica con correcciones";
- c. "No se publica".

Si ambos evaluadores consideran que el artículo “no se publica”, la dirección de la revista comunica la decisión al autor y envía, como soporte, el resultado de las evaluaciones entregado por los árbitros. Si ambos evaluadores coinciden en que el artículo “se publica sin modificaciones”, se informa al autor la decisión y se remite el artículo a la fase de edición. Si un evaluador considera que el artículo debe publicarse sin modificaciones y otro indica que “se publica con correcciones”, se informa al autor acerca de los cambios que debe implementar y la fecha en que debe hacer llegar el documento con las correcciones solicitadas. Si uno de los dos califica el texto como “no publicable”, mientras el otro lo favorece, la dirección de la revista nombrará un tercer árbitro (manteniendo la modalidad “doble ciego”) para dirimir la controversia. Una vez recibida la tercera evaluación, se comunicará al autor el dictamen.

Causales de rechazo:

- Que la temática del manuscrito, no corresponda al área de ingeniería.
- El plagio y el autoplagio, la adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor.
- Que el artículo haya sido publicado total o parcialmente, perdiendo el carácter de inédito.
- Que el contenido no tenga un nivel de originalidad igual o superior al 75%. Se entiende por originalidad de una obra aquello que resulta de la capacidad del autor de crear, hallar, analizar, imaginar.
- La existencia de conflictos de interés. Es deber de los autores notificar a la revista cualquier situación que pueda influir en los resultados o interpretación de su escrito.
- El incumplimiento de las directrices de la revista: código de conducta y guía para autores.
- La escritura en términos obscenos, abusivos, difamatorios, injuriosos o que de cualquier modo vayan en contra de la dignidad humana o del buen nombre de una persona natural o jurídica.
- La detección tanto de datos recogidos sin los permisos necesarios de las personas naturales o jurídicas en estos implicadas, como de hallazgos falsos o convenidos.
- Toda información o acto que vaya en contravía de las leyes nacionales e internacionales de Derechos de Autor y de Protección a menores.

Comunicación con los autores

- Las decisiones editoriales se informarán a los autores de manera oportuna, en términos respetuosos y procurando el mutuo aprendizaje.
- Cada etapa del proceso editorial, la publicación y divulgación será notificada a los autores, quienes en uso de sus derechos podrán hacer y solicitar cambios al texto hasta antes de ser informados de la disposición pública del material diseñado.

- Causales de suspensión de la publicación del artículo
- La detección durante cualquier etapa del proceso de alguno de los términos de rechazo descritos en este apartado.
- Duda o disputa de autoría y coautoría.
- Solicitud de los autores de cualquier tipo de privilegios.

Transparencia

- Los comités velarán por la calidad académica de la revista; por ende, sus opiniones son consultadas periódicamente y estarán al tanto de la disposición en línea de la revista final.
- El editor-director, los comités y los evaluadores tendrán libertad para emitir su opinión sobre la viabilidad de publicación del artículo.
- La revista no revelará a los evaluadores los nombres de los autores, y viceversa, mientras se cumpla el proceso de edición y revisión de los textos. El grupo evaluador será publicado en las páginas preliminares de cada número.
- En ningún caso, la dirección de la revista exigirá al autor la citación de la misma o de alguno de los miembros de su equipo de colaboradores.
- Los evaluadores declaran la inexistencia de conflictos de interés; es decir, que su concepto no está sesgado por ningún tipo de conveniencia: financiera, laboral, profesional, personal o cualquier otra de la que pueda desprenderse un juicio no objetivo sobre el texto.

Modelo sin cobro

- La revista no paga a los autores por sus contribuciones ni genera cobros
- por las actividades del proceso editorial o por la publicación.
- No se generan retribuciones económicas a los evaluadores o miembros de los comités.
- Todos los costos de producción editorial, publicación y divulgación son asumidos por la Universidad Católica Luis Amigó.

Ética de la publicación y buenas prácticas

Responsabilidades del editor: el editor de la revista Lámpsakos es el encargado de seleccionar los artículos que harán parte de los volúmenes semestrales de la Revista. Para ello, él mismo se rige por el condigo de conducta que acoge esta publicación. La selección de los artículos estará guiada por su nivel académico y pertinencia temática, y en este sentido la discriminación por género, orientación sexual, nacionalidad, origen étnico o inclinaciones religiosas o políticas de quienes postulen sus manuscritos nunca será considerada como un criterio de selección. Ahora bien, el editor tiene la posibilidad de discutir las decisiones con respecto a la selección de artículos que tomen otros órganos de la publicación, siempre bajo los criterios de calidad de los textos en el ámbito de la investigación de la ingeniería. En relación con los autores, el editor está comprometido a mantener la confidencialidad de las decisiones que se tomen sobre sus artículos, y en este sentido, solo se comunicara con los autores, y nunca con personas externas al proceso, sobre los arbitrajes. Finalmente, el editor evitará expresamente gestionar artículos que deriven en conflictos de intereses como resultado de alguna conexión posible con estos, con el objetivo de mantener la transparencia en el proceso de edición y publicación.

Responsabilidades de los evaluadores: como parte fundamental del proceso de publicación, los revisores deben mantener la confidencialidad de los manuscritos que se les envían y, en este sentido, evitar compartir con terceros el material a arbitrar. Es fundamental que mantengan objetividad y neutralidad a la hora de formular sus críticas a los manuscritos, sobre todo, estas deben estar fundamentadas en argumentos razonables. Los evaluadores están en libertad de apoyar al editor y al autor para elevar, con sus sugerencias, la calidad académica de los textos que han evaluado. También es su responsabilidad abstenerse de usar para su beneficio el material a arbitrar, y en esta misma línea, evitar hacer parte de procesos de evaluación de los cuales pueda derivarse algún conflicto de intereses. Finalmente, se espera que los evaluadores cumplan los tiempos asignados para su arbitraje y comuniquen al editor sobre su posibilidad de revisar de manera oportuna e idónea el texto que se les invita a evaluar.

Responsabilidades de los autores: deben regirse por las normas de publicación y el código de ética que acoge nuestra Revista. Según lo anterior, se exige que sus manuscritos sean originales, inéditos y que no se encuentren en proceso de evaluación en otra revista. Como partes de una comunidad de investigadores, sus textos deben regirse por procedimientos que permitan el desarrollo de su disciplina en el orden científico, es decir, sus textos deben aportar datos veraces y confiables, referencias y fuentes completas y el desarrollo de las temáticas de tal orden que otros investigadores puedan corroborar, discutir o apoyar lo que en ellos se expone. Dado lo anterior, afirmaciones falsas o erróneas no serán toleradas por nuestra publicación. Los manuscritos presentados deben dar reconocimiento de su autoría a las personas que participaron en su construcción y redacción, y en este sentido, tanto autores principales como coautores deben estar incluidos en el texto y haber consentido y revisado la información que se presentará a la Revista. Los autores deben respetar la integridad de las comunidades que participan

de sus investigaciones y garantizar la presentación de los formatos que dan cuenta de la participación voluntaria y digna de estas. Asimismo, los datos sobre las fuentes de financiación de su investigación deben ser transparentes. Finalmente, el autor tiene el compromiso de poner en conocimiento, inmediatamente, al editor de algún tipo de error o inexactitud que se haya publicado en su propia investigación.

Procedimiento para dirimir conflictos derivados de comportamientos no éticos: Se solicita, a quien realiza alguna reclamación, que identifique, antes de afirmar que se incurre en un comportamiento que contraviene la ética de nuestra publicación, la naturaleza de la falta y las pruebas que la demuestran, y proceda entonces a elevar su reclamación al editor de nuestra Revista.

Reclamaciones

- Si una vez publicado el artículo: 1) el editor descubre plagio, adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor o errores de fondo que atenten contra la calidad o científicidad, podrá solicitar su retiro o corrección. 2) Un tercero detecta el error, es obligación del autor retractarse de inmediato y se procederá al retiro o corrección pública.
- Durante el proceso de edición, los autores deben reportar al editor cualquier error o inexactitud que identifiquen en el material enviado; si el artículo es publicado con dichas faltas, deben solicitar a la revista la corrección o retractación inmediata.
- Procedimiento para dirimir conflictos derivados de comportamiento no éticos
- Identificar, antes de asegurar que se incurre en comportamientos no éticos, la naturaleza de la falta y las pruebas que la corrobora.
- No emitir ningún juicio u observación asociada con situaciones particulares que estén en estudio hasta que se hayan reunido todas las pruebas y se tenga plena certeza de la existencia de la falta.
- Presentar ante el comité editorial las pruebas correspondientes al caso para que este considere, de acuerdo a la naturaleza de la falta, las acciones que se tomarán frente a la mala conducta.

Entre las acciones que se podrían aplicar, según la naturaleza de la falta, se tienen:

- Informar al autor acerca de la falta, corregirla y llamar la atención para que no se incurra en ella en publicaciones futuras.
- Retracción formal con publicación de una nota editorial en la que se informe el motivo y se llame la atención acerca de la importancia de las buenas prácticas éticas.
- Retiro del artículo con publicación de una nota editorial en la que se informe el motivo y se llame la atención acerca de la importancia de las buenas prácticas éticas.

- Solicitud escrita de retiro del artículo de una publicación paralela, siempre y cuando se evidencie que la versión disponible en Lámpsakos fue precedente.
- Los autores tendrán derecho a que se les publique, junto con la nota editorial, una declaración pública de máximo 80 palabras, en la que se expongan las razones de la falla que originó la acción.
- Informar a las entidades financiadoras, académicas o comerciales, acerca de la falta y las implicaciones de la misma, con el fin de que promueva las buenas prácticas éticas entre sus investigadores.
- Las opiniones contenidas en los artículos son atribuibles de modo exclusivo a los autores; por lo tanto, la Universidad Católica Luis Amigó no es responsable de lo que estas pudieran generar.

Toda reclamación se recibirá por escrito mediante correo electrónico (lampsakos@amigo.edu.co). El plazo máximo de respuesta será de cinco días hábiles a partir de la recepción de la disconformidad.

Derechos de autor y acceso a la publicación

Derechos morales. Se reconoce a los autores la paternidad de la obra y se protege la integridad de la misma. Los autores pueden tener derechos adicionales sobre sus artículos, según lo establecido en su acuerdo con la revista. Además, ellos son moral y legalmente responsables del contenido de sus textos, así como del respeto a los derechos de autor de las obras consultadas y de las citadas en estos; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido el pensamiento de los comités, del equipo editorial, los evaluadores, ni de la Universidad Católica Luis Amigó.

Licencia

La revista y los textos individuales que en esta se divulgan están protegidos por las leyes de copyright y por los términos y condiciones de la Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional. © 2018 Universidad Católica Luis Amigó. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <https://www.funlam.edu.co/modules/fondoeditorial/item.php?itemid=264>

Publicación y divulgación

La revista completa y los textos individuales se publican en formatos PDF y HTML en el *Open Journal Systems* (en el siguiente enlace: <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos>). La revista y cada artículo cuentan con *Digital object identifier* (DOI), lo que facilita su localización en internet, esta herramienta garantiza la preservación de acceso al contenido de la revista en caso que deje de publicarse. La revista usa la publicación anticipada, con el propósito de responder a las necesidades de vigencia del contenido y a los requerimientos de los autores y del medio. Este recurso se utiliza una vez se tengan los conceptos satisfactorios de los pares evaluadores; la publicación provisional contiene la última versión enviada por los autores, sin que aún se hayan realizado la corrección de estilo, la traducción y la diagramación.

Lámpsakos utiliza, entre otros medios, las redes sociales y académicas para la divulgación de su contenido. Y actualmente, está reconocida por diferentes servicios de indexación (ESCI, Dialnet, EBSCO, REDIB, InfoBaseIndex, SapiensResearch, Publindex, Latindex, MIAR, J4F).

Periodicidad de la publicación

Lámpsakos es de carácter semestral. Publica dos números por año, correspondientes a los periodos enero-junio y julio-diciembre.

Recepción de contribuciones

Medio y términos de recepción. Los textos propuestos se remiten mediante el Open Journal System (OJS), software de administración y publicación de revistas que permite el seguimiento a los documentos en sus distintas etapas. Los envíos en línea requieren de usuario y contraseña, que pueden solicitarse en <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/about/submissions#onlineSubmissions>. No se recibirán artículos impresos ni versiones parciales del texto, es decir, aquellas que estructuralmente no se ajustan a alguno de los tipos de artículo descritos en la guía para autores de la revista Lámpsakos.

La dirección de la Revista dará respuesta en un máximo de cinco (5) días acerca de la recepción del documento, pero esto no supone ni obliga su publicación.

Las consultas para la remisión pueden enviarse al correo electrónico de la revista (lampsakos@amigo.edu.co).

Compromiso de los autores y cesión de derechos. Una vez el Editor verifique el cumplimiento de los requisitos mínimos, solicitará a los autores que: i) declaren que el trabajo es original, inédito, no está siendo evaluado simultáneamente en otra revista; ii) se comprometan a no retirar el artículo luego de la evaluación de pares, si esta determina la viabilidad de la publicación, bien sea en el estado actual o con modificaciones; iii) declaren la inexistencia de conflictos de intereses y manifiesten la cesión de derechos patrimoniales a favor de la Universidad Católica Luis Amigó. iv) autoricen el tratamiento de sus datos personales.

Publicación de datos de autor. Una vez enviado el artículo, se entiende que el autor autoriza la publicación de los datos personales relacionados en la nota de autor.

Autorización para tratamiento de datos. La Universidad Católica Luis Amigó como responsable del tratamiento de los datos y dando cumplimiento a la Ley 1581 de 2012 y al Decreto 1377 de 2013, manifiesta que los datos personales de los integrantes de los comités, evaluadores y autores, se encuentran incluidos en las bases de datos institucionales y son de uso exclusivo de la Universidad. Según la política de privacidad, la cual puede consultar en nuestro sitio web www.ucatolicaluismigo.edu.co, los datos no son compartidos o suministrados a terceros sin la autorización previa del titular. Además, la Institución cuenta con los medios tecnológicos idóneos para asegurar que sean almacenados de manera segura y confiable.

De acuerdo con lo anterior, es obligación durante el proceso de edición de la Revista Lámpsakos, autorizar a la Universidad Católica Luis Amigó para el tratamiento de los datos personales, para las finalidades propias de la Institución.

Declaración de privacidad. Todos los datos de autores, comités, evaluadores y de-más colaboradores de Lámpsakos les introducidos en la plataforma OJS y/o en los artículos se usarán exclusivamente para la inclusión de la Revista en Sistemas de Indexación y Resumen y los fines declarados por la misma y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Cierre de edición. La recepción de los artículos de investigación es permanente, pero se establecen como fechas de cierre para la selección de los artículos: el tercer viernes de marzo para el número correspondiente al periodo de julio-diciembre; y el tercer viernes de septiembre para el número que se publica en enero-junio. A partir de esos vencimientos, se iniciarán las actividades de corrección de estilo, diagramación, revisión de muestras y demás, propias del proceso de disposición pública del material. Dado el alto número de artículos que recibe la Revista, las actividades de revisión y evaluación se efectúan según el orden de llegada; el tiempo fijado entre la recepción de los artículos de investigación y su publicación es de seis (6) meses.

Aval del Comité de ética. Con el fin de evidenciar que se cuenta con los permisos necesarios de las personas naturales y jurídicas implicadas en la investigación de la que es producto el documento, cada artículo que a dichos actores se refiera debe enviar a la revista una copia del aval del Comité de ética del consentimiento y asentimiento informado de la investigación.

GUÍA PARA AUTORES

La revista Lámpsakos es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Su periodicidad es semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación online de libre acceso, publicada bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial. Para tal efecto, considera artículos que respondan a los lineamientos de la presente guía; por tal razón, la continuidad de los textos postulados está supeditada tanto a la comprensión y aceptación de los autores de las políticas de la revista, como al cumplimiento de los criterios que se describen a continuación.

Formación académica y filiación de los autores

Se reciben artículos de autores con nivel académico de especialización, maestría, doctorado y posdoctorado, y de estudiantes de posgrado que escriban en coautoría con docentes o investigadores titulados en alguno de los niveles mencionados.

Para velar por la exogamia institucional, prevalecerá la publicación de textos de autores externos a la Universidad Católica Luis Amigó, sin que esto prime sobre la calidad del contenido.

Idioma y tipología de los artículos

Los artículos pueden ser originales e inéditos, escritos en español o inglés siempre y cuando su estructura responda a uno de los tipos descritos por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias en el Documento guía para la indexación, emitido en febrero de 2010 (p. 7), que se citan en esta sección:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura contiene seis partes importantes que dan cuenta del desarrollo formal de la investigación: introducción, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias.
2. **Artículo de reflexión derivada de investigación.** 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.

Aunque la revista privilegia los tres tipos de artículos antes descritos, considera excepcionalmente:

4. **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. Se acepta para el proceso editorial, sí y solo sí, el estudio da cuenta de cada elemento citado: las experiencias, la revisión sistemática y la comparación con otros trabajos similares de la literatura.
5. **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 (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias en el Documento guía para la indexación, emitido en febrero de 2010 (pp. 7-8).

Cada número estará encabezado por:

6. **Presentación.** Documento redactado por el editor; da cuenta de los propósitos de la revista y de los artículos que componen el número en particular.
7. **Editorial.** Texto que recoge orientaciones y reflexiones sobre el dominio temático de la revista escrita por un miembro de los comités o un investigador invitado.

Excepcionalmente se publicarán reseñas de libros, que deberán ser escritas por un autor-investigador reconocido y obedecer a textos que se consideren de importancia para las disciplinas que cubre la revista. Por decisión del Comité editorial, las reseñas podrán ocupar el lugar del editorial.

Características de forma de los documentos

Los manuscritos que deseen participar en las convocatorias, deben cumplir:

- Formato en Word, en tamaño carta.
- Márgenes de 2 cm en cada lado
- Letra Arial tamaño 10 espacio sencillo en doble columna.
- Todas las figuras y tablas se ubican dentro del texto luego de haber sido mencionadas en el texto (no antes). Las tablas no tienen líneas separando las celdas.
- La extensión mínima es de 7.000 palabras y la máxima de 10.000, incluyendo tablas, figuras y notas, exceptuando referencias.

- Numeración bibliográfica según formato IEEE. Todas las citas en el manuscrito deben estar anotadas en las referencias bibliográficas. Tampoco deben existir referencias bibliográficas aisladas que no estén citadas dentro del cuerpo del manuscrito. Cada artículo deberá incluir al menos 15 referencias bibliográficas de calidad científica, con sus respectivos enlaces URL o DOI.
- El título del artículo se escribe en mayúsculas sostenidas, negrilla, cursiva y centrado (Arial 14). Los subtítulos se escriben en negrillas y alineados a la izquierda, con la primera palabra en mayúscula inicial –las demás en minúscula, exceptuando los nombres propios– (Arial 10). Los entretítulos tendrán negrilla, cursiva y mayúscula solo en la letra inicial (Arial 10).

Indicaciones para la redacción

Además de cumplir los lineamientos generales de ortografía y gramática propios del idioma en el que se presenta el artículo, la **redacción** debe ser clara y precisa, sin utilizar eufemismos ni discriminaciones en el lenguaje, como lo estipula el Manual de publicaciones de la *American Psychological Association* (APA, 2010, pp. 61-84). En ese sentido, las diferencias en cuanto al género, orientación sexual, grupo étnico o racial, discapacidades o edad deben mencionarse solo cuando sean relevantes para la comunicación.

Se debe evitar el uso de **citas secundarias** o “citas de citas”; en su lugar es recomendable citar a los autores originales.

Se recomienda el uso de la **cita literal** para presentar ideas que requieran precisión o discusión de términos.

El uso del **ampersand** (&) es exclusivo para citas y referencias en inglés.

El **título** debe tener una extensión máxima de 10 palabras; si incluye subtítulo, la extensión máxima total es de 15 palabras. En este se identifican las variables y asuntos teóricos que se investigan.

La **nota de autor** debe aparecer como pie de página para cada uno de los autores y debe contener lo siguiente: declarar su máximo nivel de formación académica y el programa del que egresó, su filiación institucional, correo electrónico, número de registro en ORCID y su perfil en Google Académico. Para la creación de este último se recomienda el siguiente tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=Xc3IUyjjYX8>. Se entiende que quienes firman como autores han contribuido de manera sustancial a la investigación.

Los autores deben incluir el nombre y apellidos bibliográficos, es decir, como comúnmente firman las publicaciones científicas. La normalización de este dato permite la trazabilidad de la producción del autor.

El **resumen**, debe ser analítico, estructurado de la siguiente manera: introducción, método, resultados y conclusión, y con un máximo de 150 palabras. En el caso de los artículos de reflexión derivada de investigación, el resumen debe ser del mismo modo, expresar clara y sucintamente el objetivo del artículo, los principales supuestos de los que parte, los argumentos que utiliza como soporte y la tesis que lo estructura. Jamás deben aparecer citas ni referencias en un resumen.

Las **palabras clave**, sin excepción, deben ser mínimo diez (10), separadas por ; escritas con mayúscula inicial y deben ser extraídas de un tesoro reconocido científicamente, tal es el caso del Tesoro de la Unesco, disponible en: [http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/..](http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/)

Los autores deben traducir al inglés el título, el resumen y las palabras clave. No se recomienda hacerlo a través de softwares o páginas web.

Las **notas al pie de página** únicamente se utilizan para aclaraciones o digresiones, jamás para referencias ni para información importante. Cuando sean necesarias las notas al pie, deben ir en letra Arial tamaño 8 puntos.

Estructura del artículo: en la **Introducción** se plantea el problema de investigación, los antecedentes y el marco teórico, las hipótesis y los objetivos específicos. En **metodología**, se describe la forma, el procedimiento y la técnica en qué se desarrolló la investigación. En **desarrollo** se da cuenta de los hallazgos de la investigación; si es necesario, se hace uso de tablas y figuras. En **conclusiones**, se escucha la voz propia de los autores, con las implicaciones que tiene la investigación realizada y la contribución evidenciando el aporte al área de ingeniería. En **trabajos futuros**, los autores describen las acciones futuras que tomará su investigación. En el **financiamiento** el autor(es) relaciona las instituciones que financiaron la investigación de la que se deriva el artículo. Con el **conflicto de intereses** el autor(es) declara la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole. En la sección de **agradecimientos**, se debe reconocer cualquier ayuda técnica, funciones de apoyo como recolección o ingreso de datos, reclutar participantes, dar sugerencias para el análisis estadístico o lectura, análisis del artículo y apoyo financiero indicando el nombre del proyecto de investigación del que se deriva el artículo, las entidades financiadoras, el código del proyecto, fase de desarrollo y fechas de inicio y finalización. También se incluye en esta sección el reconocimiento a tipo contrato o beca. Por último, en las **referencias** deben ir listadas todas las obras a que se hizo mención en el artículo. Es importante cotejar todas las partes de cada referencia con la publicación original, de manera que no se omita información para su fácil ubicación, incluyendo los DOI o las URL si están disponibles.

Estructuras de las citas y referencias

Las referencias se realizan en formato IEEE <http://www.ieee.org>. Solo se listan en las referencias las obras efectivamente citadas, bien haya sido de forma directa o indirecta. Es importante verificar que siempre se respete la manera como se firman los autores, esto es, que sí lo hacen con dos apellidos, así aparezcan tanto en el momento de la cita como en el listado de referencias. Igualmente es necesario conservar el orden de aparición de los autores en las fuentes consultadas, pues obedece al grado de contribución en la investigación. El orden de organización de las citas en la sección de referencias del artículo, se hace por orden alfabético del apellido del autor (No por orden de citación dentro del artículo).

Cita textual (o literal) corta: es cuando se reproduce con exactitud una idea de un autor compuesto por hasta 39 palabras. No se debe alterar ningún término del texto y en caso de precisar o introducir algo, se debe poner entre corchetes. La cita corta va entre comillas y luego de ellas se abren paréntesis para incluir el o los apellidos de los autores, el año y el número de la(s) página(s) de donde se tomó la idea textual. Este tipo de citas nunca van en cursiva y todo énfasis debe indicarse a quién pertenece (si se encuentra en el original o es un énfasis que se quiere hacer). Ejemplo: "Es infinitamente más cómodo, para cada uno de nosotros, pensar que el mal es exterior a nosotros [cursivas añadidas], que no tenemos nada en común con los monstruos que lo han cometido" [1].

La referencia correspondiente sería así:

- [1] R. Yousefian y S. Kamalasadán, "A Lyapunov function based optimal hybrid power system controller for improved transient stability", *Electric Power System Research*, vol. 137, pp. 6-15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.03.042>

Citas literales o textuales de más de 40 palabras: las citas literales que tienen más de cuarenta palabras se escriben en párrafo aparte y sin comillas ni cursiva. Para efectos de su clara identificación para la diagramación, en la revista Lámpsakos se escriben en un tamaño de 10 puntos, con sangría a 1.0 cm. y sin comillas. Concluida la cita, se escribe punto antes de la referencia del paréntesis y posterior a este. Ejemplo:

La detección de las personas se realiza al inicio de la aplicación de guía, cuando el robot está en la recepción y en espera de un usuario. El algoritmo de detección comprueba si existe algún rostro en el área de visión, si detecta uno, el robot comenzará la interacción invitando al posible usuario a utilizar sus servicios. El usuario que desee utilizar el servicio deberá colocarse frente al robot y utilizar las opciones de una pantalla táctil, esto permitirá que el algoritmo de visión detecte y almacene el color predominante del usuario que será la persona más cercana al robot. El algoritmo de detección de rostros presenta un funcionamiento a una frecuencia promedio de 10Hz. [3].

La referencia correspondiente sería así:

- [3] K. L. Luna, E. R. Palacios and A. Marín, "A Fuzzy Speed Controller for a Guide Robot Using an HRI Approach", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 8, 2018. DOI: 10.1109/TLA.2018.8528222

Paráfrasis o cita no literal: este tipo de cita toma las ideas de una fuente original y las reproduce, pero no con los términos originales, sino con las propias palabras del autor. Se utiliza para exponer ideas generales. Ejemplo: El trabajo de [4] intenta potenciar una mirada objetiva del avance de la tecnología VoIP, con comparaciones actualizadas de diferentes servicios ofertados a la fecha.

La referencia correspondiente sería así:

- [4] M. D. Núñez Cuadrado, C. A. Jativa Huilcapi y R. A. Lara Cueva, "Evaluación del desempeño de la tecnología VoIP en un set de servicio extendido, en concordancia con IEEE 802.11g," *Sistemas y Telemática*, vol. 5, no. 42, pp. 85-100, no. 46, pp. 28-35, 2017.

Libros: para citar este tipo de referencia, se usa Iniciales y Apellido del autor, Título del libro en cursiva. Edición. Lugar de publicación: Editorial, Año de publicación.

Ejemplos:

- [1] R. G. Gallager. *Principles of Digital Communication*. New York: Cambridge University Press, 2008.

Artículo de revista: usar para referenciar, Iniciales y Apellido del autor, "Título del artículo entre comillas", Título de la revista en cursiva, volumen (abreviado vol.), número abreviado (no.) páginas (abreviado pp.), Año.

Ejemplos

- [1] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Brujin networks and suffflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, June 1997.

Para referenciar **artículos que aún no han sido aceptados** para publicación, se empleará la frase "admitido para publicación" en lugar de la fecha. Si han sido aceptados, pero aún no aparecen publicados, usar "a ser publicado" en lugar de la fecha.

Artículos publicados en conferencias. Usar el siguiente formato: Iniciales y Apellidos del autor, "Título del artículo de conferencia", el Nombre completo de la conferencia en cursiva, Abreviación del nombre de la conferencia (si existe), Ciudad y País de la conferencia, año, páginas donde se relaciona el artículo (abreviado pp.)

Ejemplos

- [1] N. Osifchin and G. Vau, "Power considerations for the modernization of telecommunications in Central and Eastern European and former Soviet Union" CEE/FSU), in *Second International Telecommunications Energy Special Conference*, 1997, pp. 9-16.
- [2] G. Caire, D. Burshtein, and S. Shamai (Shitz), "LDPC coding for interference mitigation at the transmitter," in *Proceedings of the 40th Annual Allerton Conference in Communications, Control, and Computing*, Monticello, Italia, october 2002, pp. 217-226.

NOTA: La palabra "in" antes del título de la conferencia no se pone en cursiva.

Artículo presentado en conferencia, sin publicar: Usar el siguiente formato: iniciales y apellidos del autor, "Título del artículo de conferencia", incluir la palabra presentado en (en inglés presented at) el Nombre completo de la conferencia en cursiva, Abreviación del nombre de la conferencia (si existe), Ciudad y País de la conferencia, año.

Ejemplo:

- [3] H. A. Nimr, "Defuzzification of the outputs of fuzzy controllers", presented at 5th *International Conference on Fuzzy Systems*, Cairo, Egypt, 1996.

Informes técnicos (informes, documentos internos, memoranda): Para referenciar de esta manera se usa, iniciales y apellido del autor, "título del informe", nombre de la empresa, sede de la empresa, tipo de informe abreviado, número de informe, fecha de publicación.

Ejemplo:

- [4] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, 1997.

Tesis de máster o tesis doctoral: para referenciar este tipo de trabajo, se acude a la siguiente información, Iniciales y Apellido del Autor, "Título de la tesis o proyecto", clase de documento (tesis doctoral, trabajo fin de máster, etc.), Departamento, Institución Académica, Ciudad, País, año.

Ejemplo:

- [5] H. Zhang, "Delay-insensitive networks", master thesis, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canadá, 1997.
- [6] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images", doctoral dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, USA, 1998.

De internet: para referenciar trabajos que son tomados del internet, usar Iniciales y Apellido del Autor (año, mes y día). Título (edición).

Ejemplo:

- [7] J. Jones. (1991, May 10). Networks (2nd ed.) <http://www.atm.com>

NOTA: los recursos en internet pueden presentar una tipología muy variada (revistas, monografías, sitios web de entidades, bases de datos, etc.) En general, se citan como el documento impreso del tipo al que pertenecen añadiendo la indicación del DOI (Digital Object Identifier) o URL.

Catálogos: para citar los catálogos, se debe usar Catálogo No. (o Catalog No. si es en inglés), Código del catálogo, Nombre del producto, Empresa, Ciudad, Estado

Ejemplo:

- [8] Catalog no. NWM-1, Microwave Components, M. W. Microwave Corp., Brooklyn, New York.

Estándares o patentes: para citar este tipo de trabajo se usa, Iniciales y Apellido del autor, "Título de la patente", Número, Mes, Día, Año.

Ejemplo:

- [9] K. Kimura and A. Lipeles, "Fuzzy Controller Component,"; U. S. Patent 14,860,040, December 14, 1996.

Envío Del Artículo

- Los artículos deberán enviarse a través del Open Journal de la revista: <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/user/register>, hacer el registro de los metadatos allí requeridos.
- Los campos solicitados nunca deben diligenciarse con mayúscula sostenida.
- Con mayúscula inicial se escriben los nombres propios y también los comunes.
- Cerciorarse de ingresar las referencias correctamente en concordancia con las normas IEEE.
- Es preciso verificar que se cumplen los criterios de la guía para autores.
- Lea las políticas desarrolladas en el código de conducta; con estas deberá estar de acuerdo para participar efectivamente del proceso de edición y publicación –que incluye tanto el suministro de documentación, la autorización de tratamiento de sus datos personales, como ajustes a la propuesta de publicación–.
- Si el artículo ha sido postulado previamente a otra revista, proporcione esta información en Comentarios al editor.
- Si se presenta cualquier dificultad con el envío, puede reportarla al siguiente correo electrónico: lampsakos@amigo.edu.co

Revisión de pruebas

Si un artículo es aceptado para su publicación, luego de la evaluación por pares, se procede a la normalización y corrección de estilo. A los autores se les remite el documento corregido para que realicen la revisión correspondiente y envíen su aprobación u observaciones, de manera que prosiga con la diagramación. Una vez el artículo se diagrama, se le remite el pdf a los autores con el objetivo que examinen si existe algún error tipográfico. En ningún caso se podrán hacer modificaciones de contenido ni adicionar material.

La contribución debe enviarse únicamente mediante el OJS:
<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/>
lampsakos@amigo.edu.co

Universidad Católica Luis Amigó

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Transversal 51A N° 67B - 90. Medellín, Antioquia - Colombia

Tel: (574) 448 76 66

www.ucatolicaluisamigo.edu.co